

Klimastatusbericht 2009



Aktuelle Ergebnisse des Klimamonitorings

Auswirkungen von Klimaänderungen aus agrarmeteorologischer Sicht

Der thermische Klimaindex

Herausgeber und Verlag
Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Str. 135
63067 Offenbach

Postfach 10 04 65
63004 Offenbach

Redaktion:

Gerhard Müller-Westermeier
e-mail: gerhard.mueller-westermeier@dwd.de

Patricia Willing
e-mail: patricia.willing@dwd.de

Der Klimastatusbericht im Internet:

www.ksb.dwd.de

ISSN 1437 - 7691

ISSN 1616 - 5063 (Internet)

ISBN 978-3-88148-447-3

Urheberrecht

Alle Rechte an den hier präsentierten Informationen liegen, soweit nicht anders vermerkt, beim DWD.

Die Nutzung der nachfolgenden Informationen bzw. Teilen davon ist nur unter Nennung des Quellenhinweises „Deutscher Wetterdienst“ gestattet.

Eine kommerzielle Nutzung ohne ausdrückliche Genehmigung ist untersagt.

Zum Titelbild

Landwirtschaftlich geprägte Fröhsommeransicht

Vorwort



Sehr geehrte Damen und Herren,

Die Landwirtschaft ist in besonderem Maße von Witterung und Klima abhängig und von Klimaänderungen besonders betroffen. Daher soll in diesem Jahr der Schwerpunkt auf diesen Bereich gelegt werden. So wird in vier Beiträgen das Thema „Klima und Landwirtschaft“ unter besonderer Berücksichtigung der zu erwartenden anthropogenen Klimaerwärmung behandelt.

Neben den Standardbeiträgen der „Gelben Seiten“ wird außerdem in einem einzelnen Artikel die weitere Entwicklung der Modellierung der Auswirkung thermischer Einflüsse auf den Menschen dargestellt.

Verschiedene Kommentare und Anregungen haben uns veranlasst, den Klimastatusbericht intensiv zu überarbeiten, so dass Sie im nächsten Jahr eine weitgehend neue Darstellungsform erwarten können.

Sie werden den Bericht dann auch sofort nach Fertigstellung auf unseren Internetseiten kostenfrei finden. Eine Ausgabe in Papierform wird es aber zukünftig nicht mehr geben, da die Nachfrage in den letzten Jahren extrem gering war.

Falls Sie Probleme mit dem Zugang zur Internetversion des Klimastatusberichts haben, senden wir Ihnen den Bericht zukünftig auch gerne gegen Selbstkostenpreis als CD zu.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Durchsicht dieses letzten in gedruckter Form vorliegenden Bandes.

Ihr

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'K.-J. Schreiber', written in a cursive style.

Klaus-Jürgen Schreiber
Leiter der Abteilung Klimaüberwachung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Das Klima und die Landwirtschaft H. Maier	6
Weinbau im Klimawandel: Regionen im Umbruch H. R. Schultz, M. Hofmann, G. Jones	12
Aspekte der Verdunstung unter besonderer Berücksichtigung des Klimawandels C. Frühauf	21
Extremwertkarte 2009	26
Die Witterung in Deutschland 2009 G. Müller-Westermeier, W. Riecke	27
Das Klima in den deutschen Küstengebieten 2009 C. Lefebvre	49
Ergebnisse aus Messungen in der freien Atmosphäre K. Zimmermann, H. Nitsche	55
Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2009 W. Trampf, F.-J. Löpmeier	60
Jahreszeitlicher Rückblick auf das Klima in Europa (RA VI) A. Meyer-Christoffer, H. Nitsche	71
Das Klima des Jahres 2009 im globalen Maßstab P. Hechler, C. Lefebvre	88
Entwicklung klimarelevanter Luftbestandteile H. Flentje, W. Fricke, U. Köhler, W. Steinbrecht, W. Thomas	92
Der Thermische Klimaindex UTCI	96
G. Jendritzky, P. Bröde, D. Fiala, G. Havenith, P. Weihs, E. Batchvarova, R. DeDear	

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	102
Autorenverzeichnis	104
Index	106

Das Klima und die Landwirtschaft

H. Maier

Das Klima ist für die Landwirtschaft einer der wichtigsten Einflussfaktoren. Denn die Landbewirtschaftung findet vorwiegend im Freiland statt, so dass das Klima einer Region bestimmt, welche Fruchtarten im Freiland angebaut, welche Tiere wie gehalten werden können und damit welche grundsätzlichen Formen der Landbewirtschaftung überhaupt möglich sind.

Um die Bedeutung des Klimas für die Landwirtschaft etwas näher zu durchleuchten, wird im folgenden nicht der Einfluss der einzelnen Klimaelemente wie Temperatur, Strahlung usw. dargestellt, sondern es werden verschiedene Aspekte beschrieben, die sich durch den Einfluss des Klimas auf das Pflanzenwachstum, auf die Pflanzenkrankheiten, auf den Boden, auf die Planung im landwirtschaftlichen Betrieb, auf die umweltgerechte Landbewirtschaftung sowie auf die Tierhaltung ergeben. Es können jedoch nicht alle Aspekte detailliert behandelt werden. Vielmehr soll dem interessierten Leser ein Überblick über die komplexe Problematik von Klima und Landwirtschaft vermittelt werden.

Klima und Pflanze

Die Umwelt, d.h. vor allem Boden und Klima bzw. die damit zu erwartende Witterung, bestimmen nicht nur welche, sondern ob und wie eine Pflanze an einem bestimmten Ort oder in einem bestimmten Gebiet wächst. Potentieller Ertrag, Ertragssicherheit und Qualität des Ernteprodukts, aber auch der nicht beernteten Pflanzenorgane einer landwirtschaftlichen Kulturpflanze sind eng an Klima und Wetter gekoppelt. Die Klimaelemente lassen sich im Freiland kaum beeinflussen, so dass die klimatischen Voraussetzungen in der Landwirtschaft zu den wichtigsten Standortfaktoren zählen.

Eine Ausnahme bilden die Niederschläge: Ist Grund- oder Oberflächenwasser nutzbar, lassen sich fehlende Niederschläge über eine Beregnung ausgleichen oder zu hohe Niederschläge durch eine Drainage ableiten. Eine zu hohe Strahlung kann über Beschattung gemildert werden. Dies spielt großflächig z.B. beim Anbau von Tabak oder auch Ginseng eine Rolle. Zudem kann die geschickte Nutzung des Lokalklimas oder auch des Mikroklimas den Anbau von bestimmten Kulturen ermöglichen. So können in Gegenden, die für den Weinbau eigentlich zu kühl und strahlungsarm sind, die wärmeren Süd- bis Südwesthänge gewählt werden. Durch den Anbau von empfindlichen Kulturen, wie Kartoffeln oder Spargel, auf Bifängen (Dämmen) lässt sich ebenfalls ein wärmeres Kleinklima schaffen. Dennoch sind im Freiland der gezielten Beeinflussung des Klimas enge Grenzen gesetzt.

Die Temperatur nimmt eine zentrale Stellung innerhalb der Klimaelemente ein. Sie entscheidet weitgehend über die Anbauwürdigkeit einer Art und beeinflusst Wachstums- und Entwicklungsprozesse maßgeblich. Alle Pflanzen haben einen Temperaturbereich, innerhalb dessen sie optimal gedeihen. Er unterscheidet sich nicht nur von Art zu Art, sondern hängt auch vom jeweiligen Entwicklungsstadium einer Pflanze ab. Das Optimum für das Pflanzenwachstum bei Weizen liegt beispielsweise zwischen 10 und 25°C. Allerdings müssen manche Winterweizensorten erst vernalisiert, d.h. über einen längeren Zeitraum Temperaturen unter 0°C ausgesetzt werden, damit

sie generative Organe bilden. Dieses Phänomen der Vernalisation ist im Pflanzenreich weit verbreitet und kann im Bereich der Kulturpflanzen auch unerwünschte Folgen haben: Werden Zuckerrüben für die klimatischen Bedingungen eines Standortes zu früh gesät und leiden sie in der Jugendphase unter zu tiefen Temperaturen, werden auch sie vernalisiert und bilden einen Fruchtstand (so genannte Schosserrüben) anstelle einer großen Rübe.

Weicht die Temperatur vom optimalen Temperaturbereich ab, leidet die Pflanze mehr oder weniger unter Stress (Kälte- oder Hitzestress), der sich durch bestimmte Symptome äußert und meist zu einer Wachstumsstockung führt. Kälteschäden treten bei Temperaturen zwischen der unteren Temperaturgrenze des optimalen Temperaturbereichs und 0°C auf. Neben einer Hemmung des Wachstums kann es zu Vergilbungen oder zur Hemmung enzymatischer Prozesse kommen. Typisches Beispiel hierfür ist das Süßwerden der Kartoffel, das auf den geringen Umbau von Zucker in die geschmacksneutrale Stärke infolge niedriger Temperaturen zurückzuführen ist.

Unterhalb von 0°C treten an vielen Pflanzen Frostschäden auf. Sie beruhen auf einer Eisbildung in den Interzellularen und Entwässerung der Zellen. Geht die Temperatur langsam zurück, können sich allerdings viele landwirtschaftliche Kulturen an den Frost gewöhnen bzw. abhärten. Die dadurch erreichte Winterfestigkeit ist vor allem eine kulturartspezifische Größe. Sie kann für Zuckerrüben -7°C, für Wintergerste bis -12°C, für Winterweizen bis -20°C und für Winterroggen sogar bis -25°C betragen (Geisler, 1980). Unter einer schützenden Schneedecke, die als Isolationsschicht zwischen dem Bodenwärmestrom und den niedrigen winterlichen Lufttemperaturen fungiert, sinken die physiologisch wirksamen Temperaturen meist nur auf wenige Grade unter 0°C.

Hohe Temperaturen führten gerade in den letzten Jahren häufig zu Sonnenbränden (Verbrennungen) an Blättern (z.B. von Weizen) und Früchten. Die Hitzetoleranz der meisten Pflanzen des gemäßigten Klimas liegt bei 40°C.

Die Photosynthese wird stark von der Temperatur beeinflusst. Wieviel Biomasse eine Pflanze aufbaut, hängt zum einen von der Wachstumsrate (Biomasseproduktion pro Zeiteinheit) und zum anderen von der Entwicklungsdauer (verfügbare Zeit für die Photosynthese vom Aufgang bis zur Ernte) ab. Während die Wachstumsrate mit der Temperatur zunimmt, verringert sich die Entwicklungsdauer mit zunehmenden Temperaturen und damit auch die Zeit, die für die Photosynthese zur Verfügung steht. Für mitteleuropäische Kulturpflanzen wirken sich die niedrigeren, entwicklungsverlängernden Temperaturen stärker auf die Produktionsleistung der Pflanzen aus, als die Erhöhung der Wachstumsrate durch hohe Temperaturen. Dies führt z. B. dazu, dass die Erträge von Weizen in Norddeutschland, mit seinen kurzen milden Wintern und den kühlen Sommern meist über den Erträgen in Süddeutschland mit langen harten Wintern und heißen Sommern liegen.

Beim Niederschlag spielt für die Landwirtschaft neben der Jahressumme vor allem die zeitliche Verteilung eine tragende Rolle. Lange Trockenphasen während des Frühsommers führen insbesondere in Gebieten mit Böden, deren Wasserspeichervermögen gering ist, zu Trockenstress. Besonders während der Anlage und Ausbildung des Ertragsorgans sollte der Kulturpflanze genügend Wasser zur Verfügung stehen.

Trockenstress verändert Anatomie, Morphologie, Physiologie und die Biochemie der Pflanzen in allen Wachstumsstadien (Kramer, 1969). Zellengröße, interzelluläres Vo-

lumen, Blattfläche und Pflanzengröße verringern sich durch Wassermangel. Vor allem Zellteilung und -vergrößerung reagieren sehr empfindlich auf Trockenstress. Infolge Trockenstresses kann das Wurzelwachstum im Gegensatz zum Sprosswachstum gefördert oder gehemmt werden. Entscheidend für die Auswirkung von Wassermangel ist neben der Schärfe der Zeitpunkt bzw. Zeitraum, in dem der Trockenstress wirkt (Hatfield et al., 1988; Saxton et al., 1992). Trockenstress zur Blüte beeinträchtigt die männliche Sporogenese (Morgan, 1980; Saini und Aspinall, 1981). Trockenstress in der Kornfüllung von Getreide verstärkt die Blattseneszenz (Alterung), verkürzt die Dauer der Kornfüllung und verringert das Tausendkorngewicht (Austin, 1989).

Bei Trockenstress schließen die Pflanzen ihre Blattöffnungen (Stomata), um weniger Wasser zu verdunsten. Dadurch kann die Pflanze einerseits weniger Kohlendioxid aufnehmen, andererseits nimmt die Gewebetemperatur der Pflanzen zu, da weniger Verdunstungskälte entsteht. Je höher die Gewebetemperatur, desto mehr Kohlenstoff veratmet die Pflanze. Das heißt, die Nettophotosynthese (= gesamte Photosyntheseleistung minus veratmete Photosyntheseleistung) verringert sich wegen der geringeren gesamten Photosyntheseleistung und der erhöhten Veratmung.

Weitere wichtige Faktoren sind Strahlung, Lichtstärke, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit. Deren Einfluss auf das Wachstum und die Entwicklung von Kulturpflanzen ist jedoch wesentlich geringer als der Einfluss von Temperatur und Niederschlag.

Die Produktionstechnik im Pflanzenbau muss daher auf die klimatischen Gegebenheiten Rücksicht nehmen. Dazu gehört neben der Auswahl geeigneter Arten auch die Sortenwahl, Saatzeit, Saatedichte, Düngung, Pflanzenschutz u.v.a.m..

Extreme Witterungsereignisse, wie Hagel, intensive, bodenerosionsfördernde Niederschläge und Sturm können die gesamte Ernte eines Gebietes zerstören.

Klima und Boden

Ein weiterer, für die Landwirtschaft wichtiger Standortfaktor, der nur in engen Grenzen beeinflusst werden kann, ist der Boden. Auch die natürliche Entwicklung der Böden ist vom Klima abhängig, wobei hier jedoch wesentlich größere Zeiträume relevant sind. Böden entwickeln sich im Lauf von Jahrtausenden durch Umformung eines Gesteins an der Erdoberfläche. Neben dem Klima sind Ausgangsgestein, Relief, Flora, Fauna und Wasser die wichtigen Faktoren der Bodenbildung (Schachtschnabel et al., 1984).

Temperatur und Niederschlag sind auch für den Prozess der Bodenbildung die wichtigsten Einflussfaktoren. So verläuft in den Tropen die Bodenentwicklung aufgrund fehlender Winter und damit längerer Entwicklungszeit und höherer Temperaturen schneller. Niederschläge beeinflussen Lösungsvorgänge von Stoffen im Boden und verlagern als Bodenwasser gelöste Teile wie Nährstoffe oder auch Ton. Die starken Niederschläge in den Tropen lassen auch diese Prozesse schneller ablaufen als in gemäßigten Klimaten, so dass dort die Böden schon wesentlich weiter entwickelt sind als bei uns.

In ariden Gebieten dagegen führen die geringen Niederschläge in Zusammenhang

mit Salzeintrag über Staub aus der Luft, Aufstieg von salzhaltigem Grundwasser oder Düngesalzen zu einer Versalzung der Böden.

Die wichtigsten Bodenzonen unserer Erde entsprechen demzufolge den Klimazonen.

Aber auch Rückschritte in der Bodenbildung werden von klimatischen Bedingungen ausgelöst. So führen z.B. Starkregen auf wenig bewachsenen Hängen zur Wassererosion und damit zum Abtragen bereits gebildeten Bodens, ebenso wie starker Wind auf ausgetrocknetem unbewachsenem Boden.

Klima und Witterung im Zusammenhang mit Prozessen im Boden spielen für den Landwirt allerdings auch in kleineren Zeitskalen eine Rolle. So beeinflussen die Bodentemperaturen und das Wasserregime im Boden die Wachstumsbedingungen der Mikroorganismen. Eine hohe mikrobielle Aktivität hat zum einen ein stabiles Bodengefüge zur Folge, zum anderen führt es zu einer hohen Mineralisation der organischen Substanz und damit zur Stickstofffreisetzung.

Häufige Wechsel von Gefrieren und Auftauen des Bodens im Winter führt zu einer Lockerung des Bodengefüges, was als Frostgare bezeichnet wird. Besonders auf schwereren tonreichen Böden erleichtert dieser Effekt die Bodenbearbeitung im Frühjahr.

Niederschläge und damit das Wasserregime im Boden haben jedoch auch einen Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit. So ist z.B. bei der Zuckerrübe die so genannte "Herz- und Trockenfäule" bekannt, die nur in trockenen Jahren auftritt und auf Bormangel beruht.

Klima und Pflanzenkrankheiten

Aus der Sicht der Phytomedizin ist das Wetter ein wichtiger Umweltfaktor. Zum einen hängen abiotische Erkrankungen, wie Krankheiten aufgrund von Nährstoffmangel, stark vom Witterungsverlauf innerhalb von einem bis mehreren Monaten ab. Andererseits beeinflusst das Wetter sowohl die Aggressivität der Erreger als auch die Empfindlichkeit (Disposition) der Pflanze. Befallswahrscheinlichkeit und Befallsverlauf (epidemische Ausbreitung oder Abklingen einer Kalamität nach bereits erfolgtem Befall) werden stark vom Wetter beeinflusst. Wie für die Pflanzen gibt es auch für Krankheitserreger und Schädlinge optimale Temperaturbereiche, die jedoch meist größer als die der Pflanzen sind. Hinzu kommt die Fähigkeit vieler Erreger, sich an Temperaturbereiche anzupassen.

Das Klima bestimmt damit, welche Parasiten in einem bestimmten Gebiet überhaupt lebensfähig sind bzw. welchen Lebensbedingungen Wirt und Parasit ausgesetzt sind. Davon hängt ab, welche Bedeutung bestimmte Pflanzenkrankheiten haben und wie oft ein Landwirt im Schnitt der Jahre eine bestimmte Pflanzenkrankheit bekämpfen muss oder mit welchen Ertragseinbußen durch Pflanzenkrankheiten bei einem Verzicht auf die Bekämpfung zu rechnen ist. Einige Beispiele dazu:

Nur erwachsene Blattläuse können Viren übertragen. Bereits im Herbst mit Viren infizierte Blattläuse können milde Winter überleben und im Frühjahr sofort Pflanzen infizieren. Je härter also der Winter ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit einer frühen Infektion von Pflanzen durch virusübertragende Blattläuse. Die wintermilden Regionen Bayerns leiden daher im Frühjahr wesentlich eher unter Blattlausinvasionen und häufiger unter frühen Virusinfektionen z.B. der Gerstenbestände.

Hohe Temperaturen und häufige Niederschläge im Mai und Juni entscheiden über den Befall von Zuckerrüben mit dem von einem Bodenbakterium übertragenen Rizomania-Virus (Wurzelbärtigkeit), so dass von Jahr zu Jahr und von Gebiet zu Gebiet die Rizomania unterschiedlich auftritt. Häufige Niederschläge führen zu einer schnellen Ausbreitung von Spelzenbräunerregern in Weizen von den unteren über die oberen Blätter und schließlich auf die Ähre. Trockenphasen können zum fast vollständigen Absterben der Blattbräunerreger (*Septoria tritici*) führen. Deshalb kommt in feuchten Regionen der *Septoria* eine größere Bedeutung zu als in trockenen Lagen. Auch die Aktivität von pflanzenschädigenden Insekten ist stark temperaturabhängig. Trockenheit im Juni und Juli führt zu einem früheren und stärkeren Auftreten von Blattläusen in Weizen und Zuckerrüben.

Für die Sporulation vieler Pilzsporen sind Blattnässe und hohe Luftfeuchtigkeit unterschiedlicher Dauer erforderlich. Oftmals reicht jedoch bereits die nächtliche Taubildung für eine epidemische Ausbreitung des Erregers aus (z.B. echter Mehltau). So breitete sich im trockenen Frühjahr 1992, obwohl die Pflanzen unter starkem Trockenstress litten, der Mehltau epidemisch aus.

Für den Landwirt bedeutet dies, dass die Anzahl der notwendigen Bekämpfungsmaßnahmen und damit die Höhe der Bekämpfungskosten gegen einen Schaderreger in hohem Maße vom Klima abhängen.

Klima und Betriebsführung

Für den landwirtschaftlichen Betrieb bedeutet die hohe Abhängigkeit von Wetter und Klima, dass die gesamte kurzfristige Planung der Außenwirtschaft auf das Wetter, die langfristige Planung jedoch auf das Klima der entsprechenden Region abgestimmt werden muss. So wie das Wetter maßgeblich den Gewinn eines Wirtschaftsjahres beeinflusst, so bedeutend ist das Klima für die langfristige Rentabilität eines landwirtschaftlichen Betriebes.

Nicht nur die Ertragsfähigkeit eines Gebietes, sondern auch der Aufwand für die Erzeugung von Feldfrüchten hängt vom Klima ab. Dieses beeinflusst nicht nur den erforderlichen Einsatz von Düngern und Pflanzenschutzmitteln, sondern auch den Mechanisierungsgrad und die übrige Ausstattung des Betriebes. Auch hierfür seien einige Beispiele genannt:

Je größer die Anzahl der Feldarbeitstage in der Spanne der Grundbodenbearbeitung im Herbst ist, umso geringer ist die erforderliche Schlagkraft. Das bedeutet, der Betrieb muss nur kleinere Maschinen z.B. mit geringerer Arbeitsbreite bereithalten oder kann sich darauf verlassen, dass die Zeit reicht, um zwei Arbeitsgänge hintereinander auszuführen. Er muss nicht Schlepper und Personal für eine parallele Bearbeitung vorhalten. Ähnliches gilt für die Schlagkraft bei der Getreideernte, der Futterernte (Heuwerbung) usw..

Der Maschinenverschleiß und allgemein der notwendige Energieeinsatz in der Landwirtschaft werden vom Klima mitbestimmt.

Das Ertragsrisiko (Hagel, Sturm, Lagergefahr, Ernteverzögerung) unterliegt ebenfalls dem Einfluss des Klimas. So sind zum Beispiel die für die Hagelversicherung zu zahlenden Versicherungsprämien regional gestaffelt - eben in Abhängigkeit vom Hagelrisiko.

In Betrieben mit Heuwerbung ist zu überlegen, ob aufgrund klimatischer Bedingungen der Bau einer Heubelüftung rentabel ist. Dies wird immer dann der Fall sein, wenn in der Zeit der Heugewinnung damit zu rechnen ist, dass nicht mit ausreichend großer Sicherheit eine ausreichend lange Schönwetterperiode auftritt.

In der Tierhaltung ist der Aufwand für den Stallbau klimaabhängig. Je härter die Winter im Mittel, umso größer ist der Aufwand, mit dem ein Stall gebaut werden muss. Das Klima bestimmt, ob Weidehaltung oder Stallhaltung mit Feldfutterbau erforderlich ist.

Bei hohen Niederschlägen ist kein Feldfutterbau erforderlich, da genügend Futter auf Wiesen und Weiden heranwächst.

Auch die Umweltverträglichkeit der Landbewirtschaftung eines Gebietes und damit mögliche staatliche Auflagen unterliegen klimatischen Einflüssen. So treten im regenarmen Franken wesentlich häufiger hohe Nitratgehalte in Grund- und Quellwasser auf als im regenreichen Oberbayern. Dies liegt nicht nur an den unterschiedlichen Nutzungen in den Gebieten, sondern ganz wesentlich auch daran, dass der Verdünnungsgrad in Oberbayern höher ist.

Je höher die Niederschläge in Gebieten mit geneigtem Gelände, desto größer ist die Gefahr der Bodenerosion und des Nährstoffabtrags in den Vorfluter.

Literatur

- AUSTIN, R.B. (1989): Maximizing crop production in water-limited environments. In: Baker, F.W.G. (Ed.): Drought Resistance in Cereals. Veröffentlicht von C. A. B. International für die ICSU Press: 13-25.
- GEISLER, G. (1980): Pflanzenbau. Ein Lehrbuch - Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. Berlin und Hamburg.
- HATFIELD, J.L., BAUER, A., KANEMASU, E.T., MAJOR, D.J., BLAD, B.L., REGINATO, R.J., HUBBARD, K.G. (1988): Yield and water use of winter wheat in relation to latitude, nitrogen and water. Agric. For. Meteorol. 44: 187-195.
- KRAMER, P.J. (1969): Plant and soil water relationships: A modern synthesis. McGraw-Hill, New York.
- MORGAN, J.M. (1980): Possible role of abscisic acid in reducing seed set in water-stressed wheat plants. Nature 285: 655-657.
- SAINI, H.S., SEDGLEY, M., ASPINALL, D. (1981): Effect of heat stress during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat. Aust. J. Plant Physiol. 10: 137-144.
- SAXTON, K.E., PORTER, M.A., McMAHON, T.A. (1992): Climatic impacts on dryland winter wheat yields by daily soilwater and cropstress simulations. Agric. Forest Met. 58: 177-192.
- SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.P., HARTGE, K.H., SCHWERTMANN, U. (1984): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke, Stuttgart.

Weinbau im Klimawandel: Regionen im Umbruch

H. R. Schultz, M. Hofmann, G. Jones

Das Klima ist ein entscheidender Faktor für den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen, von der Bestimmung der geografischen Anbaueignung bis zu Auswirkungen auf Ertrag und Qualität. Diese starke Bindung hat in der Menschheitsgeschichte die kulturelle und ökonomische Entwicklung von Regionen bestimmt, regionale Identitäten geschaffen sowie die Migration und Siedlungsaktivitäten beeinflusst.

Diese Zusammenhänge sind kaum irgendwo stärker ausgeprägt als bei der Erzeugung von Trauben und Wein. Reben werden seit mehreren tausend Jahren kultiviert und in dieser langen Geschichte haben sich spezifische Anbauggebiete herauskristallisiert, deren klimatische Bedingungen eine große Rolle für die Ausprägung eines spezifischen Weincharakters bestimmter Sorten spielen.

Diese Erfahrungen machte man sich auch in den jüngeren Weinbaugebieten, vor allem in Übersee, zu Nutze, in dem klimatische Indizes verschiedener Weinbaugebiete Europas bzw. die klimatischen Anforderungen für den Anbau bestimmter Sorten auf dortige Regionen übertragen wurden (Gladstones 1992). Auch innerhalb der Europäischen Union wurden Anbauggebiete basierend auf den klimatischen Bedingungen abgegrenzt und deren gesetzliche Rahmenbedingungen definiert (Huglin 1986). So prägt das Klima in Zusammenspiel mit den Bodenbedingungen, der Landschaft und den Kulturmaßnahmen durch den Winzer den „Charakter“ eines Weines.

Klima und Weinbau in der Vergangenheit

Die direkten Wetteraufzeichnungen, die in europäischen Weinbaugebieten oft bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen, bestätigen den anhaltenden globalen Trend (IPCC 2007) und lokale Wetterdaten aus verschiedenen Weinbauregionen weltweit zeigen Tendenzen zu höheren Temperaturen seit Beginn der Messreihen (Gladstones 1992, Jones et al. 2005a).

Die Geschichte des europäischen Weinbaus zeigt aber deutlich, dass es große klimatische Schwankungen über viele Jahrhunderte gegeben haben muss. So rekonstruierten Chuine et al. (2004) mit einem Prozess-basierten Phänologiemodell für die Rebsorte Spätburgunder die Frühjahrs- und Sommertemperaturen für die Region Burgund in Frankreich für den Zeitraum 1370-2003 basierend auf dem Erntezeitpunkt, der teilweise seit Jahrhunderten in vielen Regionen schriftlich festgehalten wird.

Die rekonstruierten Temperaturanomalien korrelierten signifikant mit anderen Formen der Klimarekonstruktion wie z.B. Baumringanalysen aus Zentral-Frankreich (Chuine et al. 2004). Die Analyse zeigt, dass es ausgesprochene Warmphasen zwischen 1380 und 1420, um 1520 und zwischen 1630 und 1680 gab, die zum Teil deutlich über den Temperaturverläufen der 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts und des Beginns (mit Ausnahme von 2003) dieses Jahrhunderts lagen (Chuine et al. 2004).

Erntedaten reflektieren natürlich auch andere Faktoren außer dem Klima, wie z.B. Verbesserungen der landwirtschaftlichen Techniken, des Pflanzenmaterials (Vitalität), des Pflanzenschutzes oder Änderungen in den Verbraucherpräferenzen. Selbst unter

Berücksichtigung dieser Entwicklungen und basierend auf vielen historischen Quellen kam Gladstones (1992) zum Schluss, dass im hohen Mittelalter (12-13 Jahrhundert), also vor Beginn der analysierten Datenreihe von Chuine et al. (2004), die Durchschnittstemperatur in der Vegetationsperiode für Reben (April-Oktober) in Zentral- und West-Europa ca. 1.4 K über der zu Anfang der 1990er Jahre lag. Allerdings sind die Modellrechnungen, die diesen Aussagen zugrunde liegen, teilweise heftig kritisiert worden (Keenan 2007). Insgesamt waren im Durchschnitt die Temperaturen nach ca. 1730 bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts deutlich niedriger als davor (und die Erntezeitpunkte entsprechend spät).

Eine deutliche Korrelation zur Temperatur bestätigen auch langjährige Aufzeichnungen über Erntezeitpunkte einzelner Orte in anderen Regionen. So zeigen Daten aus dem Rheingau (Schloss Johannisberg seit 1782) und Bordeaux (z.B. Chateau Cheval Blanc seit 1892) eine markante Verfrühung in den letzten ca. 30-40 Jahren aufgrund steigender Temperaturen (Abb. 1). Bedingt durch die kühlen Anfangsreferenzjahre der Aufzeichnungen sind sie als Indiz der Auswirkungen einer „anthropogenen“ Klimaerwärmung allerdings nur bedingt geeignet. In allen Datensätzen zeigen sich auch zeitweise starke Tendenzen zu späteren Erntezeitpunkten (Johannisberg 1783 – ca. 1900, Bordeaux Chateau Cheval Blanc 1975 – 1982).

Die Verbreitung des Weinbaus zu Beginn der sog. „kleinen Eiszeit“ gegen Ende des 16. Jahrhunderts, die sich im Vergleich zu heute in Europa sehr viel weiter nördlich nach England und weiter östlich nach Polen erstreckte (Pfister 1988 zitiert in Gladstones 1992), ist ein weiteres Indiz für höhere Temperaturen in dieser Periode, zumal viele der heute noch verwendeten Rebsorten (Riesling, Gamay, Spätburgunder (Pinot noir), Traminer) bereits zu dieser Zeit im Anbau waren.

Die nachfolgende kühle Periode, vor allem aber auch verheerende Winterfröste gegen Ende des 17. Jahrhunderts, brachten in Teilen ein Verschwinden des Rebanbaus in den nördlichen Regionen mit sich und eine deutliche Ausweitung der Pflanzungen im südlichen Europa (Gladstones 1992).

Eine erneute Ausweitung im deutschen Weinbau Mitte des 19. Jahrhunderts bis ca. 1880 kann auch als Folge einer kurzzeitigen Warmphase gesehen werden, deren Sommertemperaturen mit den heutigen durchaus vergleichbar waren. In dieser Zeit etablierte sich auch die Erkenntnis, dass der 50. Breitengrad die nördliche Begrenzung des Weinbaus in Europa darstellte, während nach Osten hin eine Januartemperatur < -1 °C als begrenzender Faktor für den Rebanbau galt.

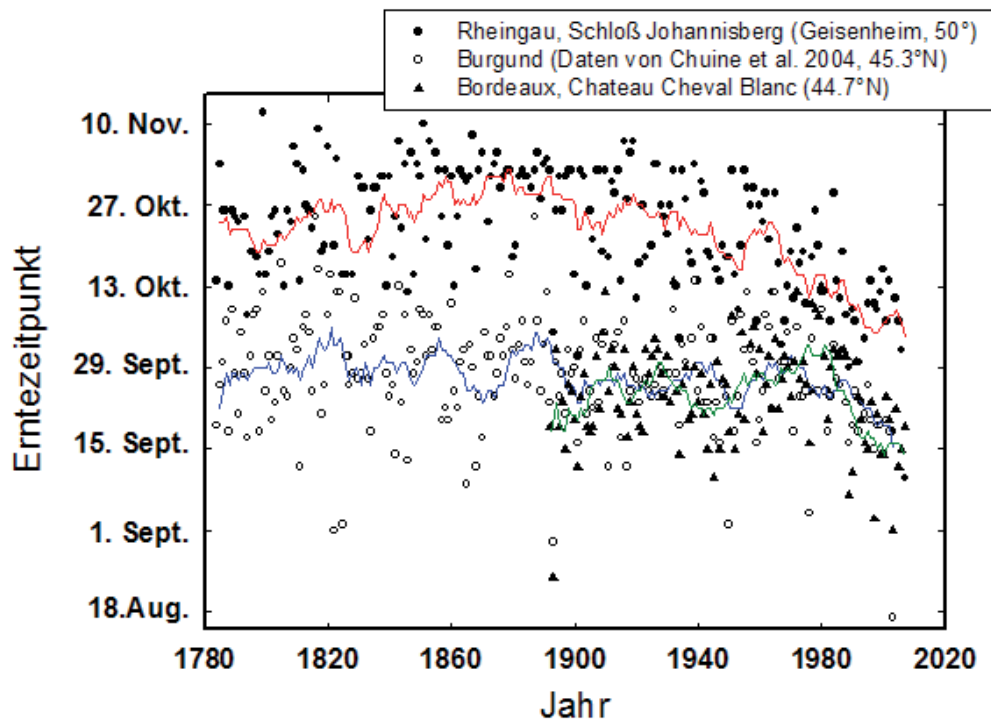


Abb. 1: Historische Aufzeichnungen über Erntezeitpunkte in drei Weinbauregionen (Rheingau, Deutschland (Aufzeichnungen Schloss Johannisberg); Burgund (Daten von Chuine et al. 2004) und Bordeaux (Cheval Blanc, Daten Prof. Kees van Leeuwen, ENITA Bordeaux, Frankreich). Linien stellen 10-jährige gleitende Mittelwerte dar (rot=Rheingau, blau=Burgund, grün=Bordeaux).

Klima und Weinbau in der Zukunft

Weltweit findet sich der Großteil der Weinbauflächen zwischen dem 30. und 50. Breitengrad auf der Nordhemisphäre und dem 30. und 40. Breitengrad auf der Südhemisphäre, obwohl es auch in den Tropen mit steigender Tendenz Weinanbau gibt. Diese Einteilung entspricht grob einem Jahresdurchschnittstemperaturbereich von 10 °C bis 20 °C, was der tatsächlichen geographischen Verbreitung durch das Einbeziehen der Wintertemperaturen nicht immer nahe kommt.

Die tatsächliche derzeitige Verbreitung wird etwas besser abgegrenzt durch die 12 °C bis 22 °C Isotherme der durchschnittlichen Temperatur der Vegetationsperiode (April-Oktober, Nordhemisphäre; Oktober-April, Südhemisphäre), wobei 12 °C für europäische Verhältnisse etwas zu niedrig liegt (in etwa Durchschnitt (1961-1990) von London (England)), dadurch aber die Weinbauggebiete Kanadas besser einbezogen werden können.

Eine Analyse von 27 Weinbauregionen weltweit belegt, dass die durchschnittlichen Temperaturen im Winterhalbjahr und in der Vegetationsperiode zwischen 1950 und 2000 um 1,3 K, bzw. 1,4 K angestiegen sind, wobei die Steigerung der Nachttemperaturen in vielen Gebieten stärker ausgeprägt war als die der Tagestemperaturen (Jones et al. 2005a, b). Von diesen Regionen zeigen 18 bereits eine angestiegene Variabilität in der Temperatur, was den Vorhersagen der IPCC Berichte (z.B. IPCC 2007) entspricht. Die derzeitige Temperaturentwicklung entspricht dem prognostizierten Trend des ersten UN-Klimaberichts, der vom Jahr 1990 ausging (Rahmstorf et al. 2007).

Die Abschätzungen der weiteren Erwärmung durch Klimamodelle gehen von einer Zunahme der Temperatur bis zum Ende dieses Jahrhunderts um ca. 1,5 K bis > 5 K aus (IPCC (2007)). Eine solche Erwärmung würde die geographische Anbaueignung stark beeinflussen und die Verwendung bestimmter Rebsorten in bestimmten Weinbauregionen nachhaltig verändern.

Abbildung 2 zeigt eine Simulation der Verschiebung der Anbaueignung für Reben basierend auf dem A1B Szenario (IPCC Prognosen, + 3 K bis Ende dieses Jahrhunderts) für die Nord- und Südhalbkugel, wobei die Grenzen der Weinbaufähigkeit die 12 °C bis 22 °C Isotherme der durchschnittlichen Temperatur der Vegetationsperiode bilden. Die Veränderungen der Begrenzung 2049 gegenüber 1999 sind als rote Flächen dargestellt. Nach dieser Hochrechnung würden Teile Nordamerikas, Nordafrikas und Vorderasiens für den Anbau zu warm (> 22°C April-Oktober), während eine deutliche Ausdehnung nach Norden in Europa sowie in Teilen von Asien und des Nordamerikanischen Kontinents möglich wäre. Während auf der Nordhalbkugel eine Ausdehnung in nördlichere Gebiete grundsätzlich erfolgen könnte, zeigt die gleiche Simulation, dass sich die für Weinbau geeignete Fläche auf der Südhalbkugel verringern wird, da eine Ausdehnung nach Süden wegen fehlender Landmasse nur in Südamerika möglich ist (Abb. 2C, D).

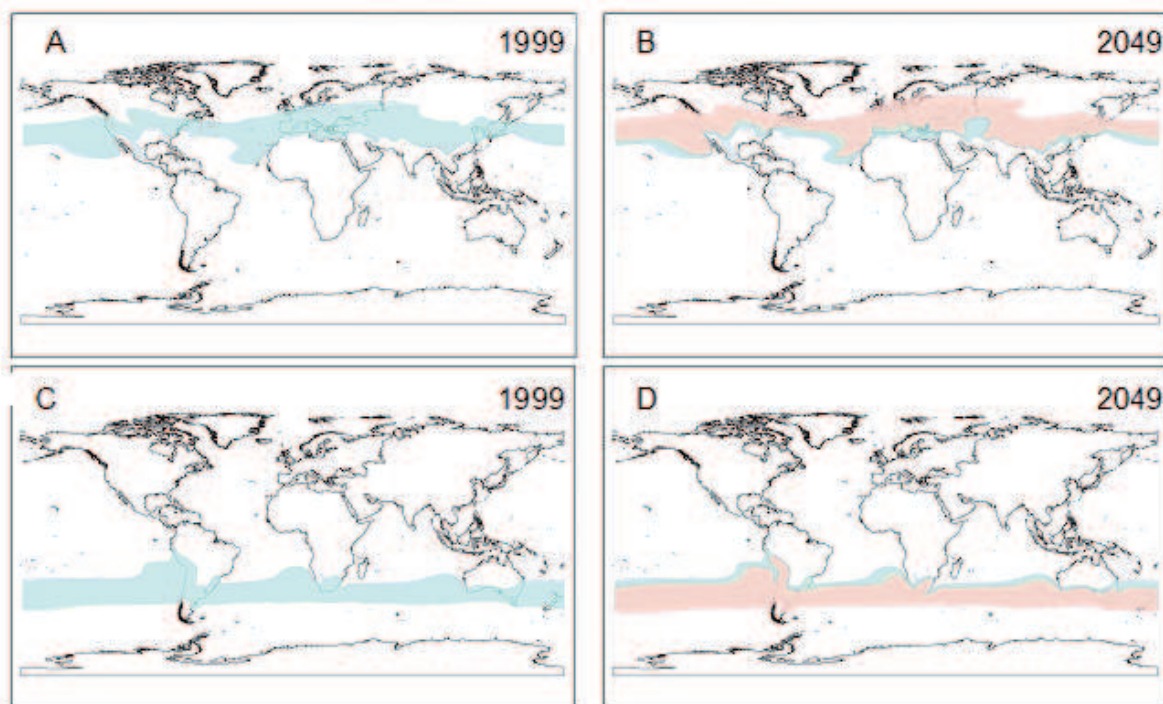


Abb. 2: Simulation der Veränderung der geographischen Begrenzung der weltweiten Weinbauzonen bis 2049 für die Nord- (B) und Südhemisphäre (D). Die Berechnung basiert auf dem A1B Szenario des IPCC Berichts (2007), im Vergleich zu den Bedingungen zum Ende des letzten Jahrhunderts (1999) (A, C). Die Konturen repräsentieren die 12 bzw. 22 °C Isotherme der durchschnittlichen Temperatur während der Vegetationsperiode (April-Oktober für die Nordhemisphäre, Oktober-April für die Südhemisphäre).

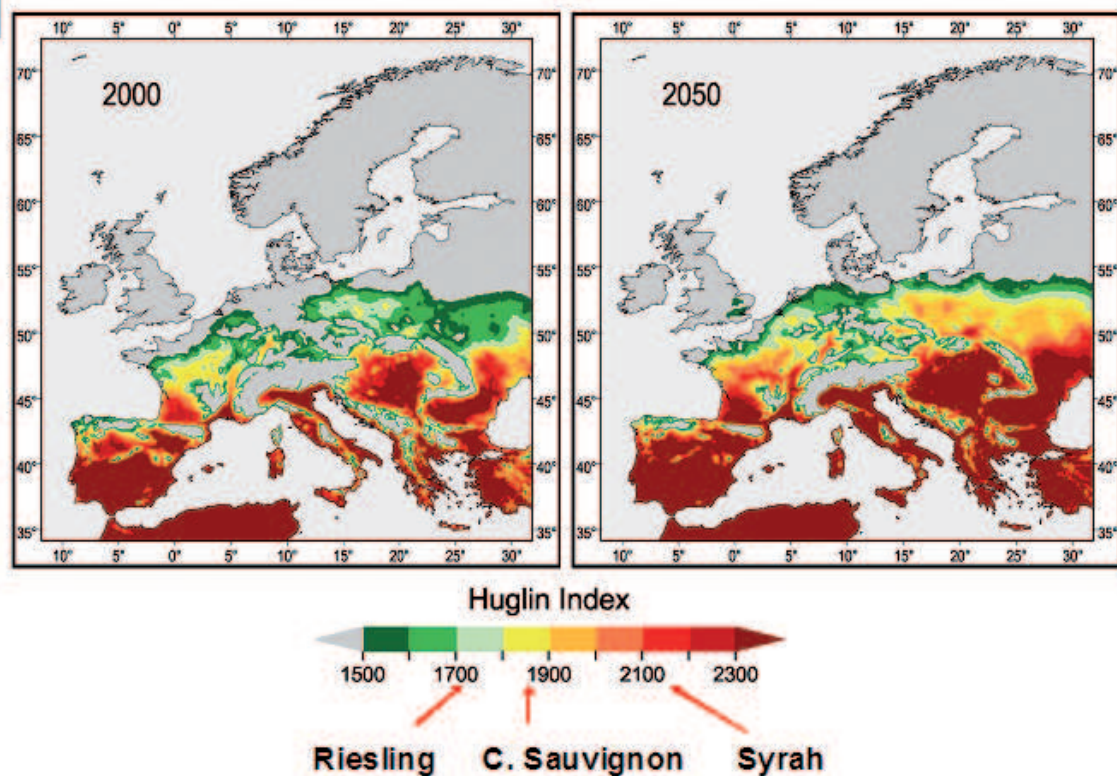


Abb. 3: Huglin Temperatursummen-Index in Europa 2050 im Vergleich zu den beobachteten Werten des Jahres 2000. Die Simulationen basieren auf dem A1F1 Szenario (+ 1,6 °C bis 2050) (nach Stock et al. 2005).

Rebsorteneignung

Eine solche Erwärmung hätte für die derzeit bestehenden Weinbaugebiete auch Konsequenzen für die Wahl der Rebsorte. Deren weinbauliche Eignung ist vor allem an die Temperatursumme während der Vegetationsperiode gekoppelt (Huglin 1986, Gladstones 1992), wobei sowohl die Summe als auch der Temperaturverlauf einen starken Einfluss auf verschiedene Qualitätsparameter haben. Oftmals wird das Image einer Weinbauregion von einer einzelnen Sorte oder einer sehr begrenzten Zahl von Sorten bestimmt (z.B. Riesling für Mosel und Rheingau; Spätburgunder und Chardonnay für Burgund, Cabernet Sauvignon, Cabernet franc und Merlot für das Médoc-Gebiet in Bordeaux). Innerhalb Europas ist die Verwendung bestimmter Sorten zudem häufig auch gesetzlich geregelt, was im Hinblick auf die zukünftige klimatische Entwicklung auch von dieser Seite Probleme bereiten wird.

Mögliche Veränderungen im Sortenspektrum lassen sich relativ einfach anhand von Temperaturdaten abschätzen (Kenny und Harrison, 1992, Schultz 2000). Am häufigsten verwendet wird hierbei der Huglin Temperatursummen-Index (Huglin 1986), da dieser sowohl zur Charakterisierung von Weinbaugebieten als auch zur Einteilung der Eignung von Rebsorten entwickelt wurde (Schultz 2000). Allerdings gibt dieser Index nur Auskunft über die minimalen Temperaturanforderungen einiger Hauptsorten und nicht über das klimatische Spektrum, für das diese geeignet sind.

Stock et al. (2005) vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung verwendeten diesen Index, um die mögliche Entwicklung der Anbaueignung verschiedener Rebsorten in Europa bis zum Jahr 2050 (A1F1 Szenario, +1,6 K bis 2050) abzuschätzen (Abb. 3). Ähnlich der Resultate zur Veränderung der Weinbaugebiete zeigt auch die-

se Analyse eine deutliche Verschiebung der Anbaueignung nach Norden und Osten. Je nach Plastizität (Anpassungsfähigkeit) einer Sorte könnte es somit zu einer Entkopplung zwischen manchen Weinbauregionen und deren traditionellen Sorten kommen.

Wasserhaushalt von Rebstandorten, welche Risiken in der Zukunft?

Beobachtungen über den Zeitraum des vergangenen Jahrhunderts zeigen für weite Teile Deutschlands eine Zunahme der Niederschläge im Winter und eine Abnahme der Niederschläge im Sommer (Schönwiese und Janoschitz 2008) und dieser Trend soll sich in Zukunft fortsetzen (IPCC 2007). Im Westen Deutschlands hat die Zahl der Trockenperioden mit mindestens 11 Tagen Länge bereits zugenommen.

Flachgründige Böden, wie sie oft in Steillagen der Flusstäler anzutreffen sind, in denen Reben teilweise schon seit Jahrtausenden kultiviert werden, neigen häufiger zu Problemen mit der Wasser- und Nährstoffversorgung. Hinzu kommt, dass diese Lagen starke Einstrahlungswerte verzeichnen und bei Starkregenereignissen zusätzlich teilweise erheblichen Wasserverlust durch Oberflächenabfluss (Erosion) ausgesetzt sind.

Die zunehmenden Temperaturen und jahrgangsabhängige zum Teil starke Verschiebungen in der Niederschlagsverteilung haben die Bewässerung auch in Deutschland ein Thema werden lassen. Dies ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Aromausprägung weißer Rebsorten deutlich empfindlicher auf lange Trockenperioden reagiert, als dies bei roten Traubensorten zu beobachten ist. Um allerdings die Infrastruktur für eine eventuell notwendige Bewässerung zu schaffen, was z. B. in Steillagen mit erheblichen Kosten, Energieaufwand und bis dato ungelösten Fragen der Wasserentnahme bzw. Wasserbevorratung einhergeht, muss zunächst eine Risikoabschätzung vorgenommen werden, um die Notwendigkeit einer solchen Maßnahme für verschiedene Lagen überhaupt einschätzen zu können.

Im Rahmen des vom Land Hessen geförderten Projektes 'INKLIM 21012 II plus' wurde zur Risikoabschätzung der zukünftigen Häufigkeit von Trockenbedingungen in Steillagen ein Wasserhaushaltsmodell für Reben verwendet (Lebon et al. 2003). Dieses Modell wurde bereits in mehreren Weinbaugebieten der Welt mit Erfolg getestet (Gruber und Schultz 2005, Pellegrino et al. 2006) und zur Abschätzung klimatischer Veränderungen, wie z.B. einer durch höhere Temperaturen induzierten höheren Verdunstungsrate, auf den Rebenwasserhaushalt eingesetzt (Schultz und Lebon 2005). Das Modell ist auf die spezielle Situation im Weinberg abgestimmt und kann die Verdunstungsmengen für die Rebenlaubwand, offenen und begrüntem Boden getrennt berechnen.

Diesem Modell wurde ein Modul hinzugefügt, welches den geänderten Strahlungstransport in geneigte Flächen berücksichtigt (Schultz und Hofmann 2008). Aus den täglich berechneten Mengen der Zu- und Abflüsse kann die verbleibende Wassermenge im Boden bestimmt - und an den Pflanzenparameter frühmorgendliches Wasserpotenzial (Ψ_{predawn}) gekoppelt werden. Letzterer dient in der Anwendung als Steuerungsparameter für die Bewässerung. Durch diese Kopplung kann vom berech-

neten Wassergehalt des Bodens direkt auf den Versorgungsstatus der Pflanze zurückgeschlossen werden. Eine Unterscheidung zwischen gestresster und nicht gestresster Pflanze bzw. dem Grad des Wassermangels ist damit möglich. Bei Reben spricht man von starkem Stress, wenn das frühmorgendliche Wasserpotenzial Ψ_{pd} unter -0,6 MegaPascal (MPa) sinkt.

Zwei Steillagenstandorte

Die Risikoabschätzung wurde für zwei, in ihrer Wasserhaltefähigkeit stark variierende Steillagen im Rheingau durchgeführt. Eine trockene Lage an der Burgruine Ehrenfels im Rüdesheimer Schlossberg (Abb. 4A) mit einer Hangneigung von 70% (35°) und einem durchschnittlichen Speichervermögen von 75 mm (75 l/m²) frei-verfügbarem Wasser sowie einem tiefgründigen Lößlehmboden unterhalb des Johannisberger Schlosses mit einer Steigung von 36% (20°) und einem hohen Anteil an frei-verfügbarem Wasser von 175 mm (175 l/m²) (Abb. 4B). Beide Lagen liegen nur ca. 15 km von einander entfernt.



Abb. 4: (A) Standort im Rüdesheimer Schlossberg; (B) Standort Johannisberger Schlossberg

Klimaprojektionen und Trockenstressrisiko

Als Basis zur Abschätzung des Wasserhaushalts der angeführten Rebstandorte dienen WETTREG/ECHAM5-Daten für die Station Geisenheim (Außenstelle des Deutschen Wetterdienstes) auf Basis der Szenarien A2 und B1 (IPCC 2007). Die WETTREG-Daten lagen jeweils als trockene und feuchte Variationen vor. Insgesamt wurden also vier mögliche Klimaauswirkungen simuliert. Bei WETTREG handelt es sich um ein statistisches Modell, welches von der CEC-Potsdam GmbH (Spekat et al. 2007) entwickelt wurde.

Die Ergebnisse zeigen generell eine Entwicklung zu größerer Trockenheit. Dieser Trend ist – wenn auch unterschiedlich stark – bei allen Szenarien zu beobachten und bei dem trockenen Standort im Rüdesheimer Schlossberg wesentlich stärker ausgeprägt (Abb. 5). Auf diesem Standort nimmt die Zahl der Tage mit starkem Stress (heute etwa 40 Tage pro Jahr) bis zum Ende des Jahrhunderts um ca. 50% zu, wenn man

die Klimaentwicklung A2-trocken zugrunde legt. Selbst bei dem sehr moderaten Szenario B1-feucht ist mit einer Steigerung der Stresstage zu rechnen (Abb. 5 oben). Für den Standort Johannisberger Schloss wurde für die Klimaentwicklung A2-trocken errechnet, dass die Anzahl der Tage mit starkem Stress gegen Ende des Jahrhunderts auf ca. 10 Tage pro Jahr ansteigt. Hier wäre auch Ende des Jahrhunderts eine Bewässerung nur in Ausnahmefällen sinnvoll (Abb. 5).

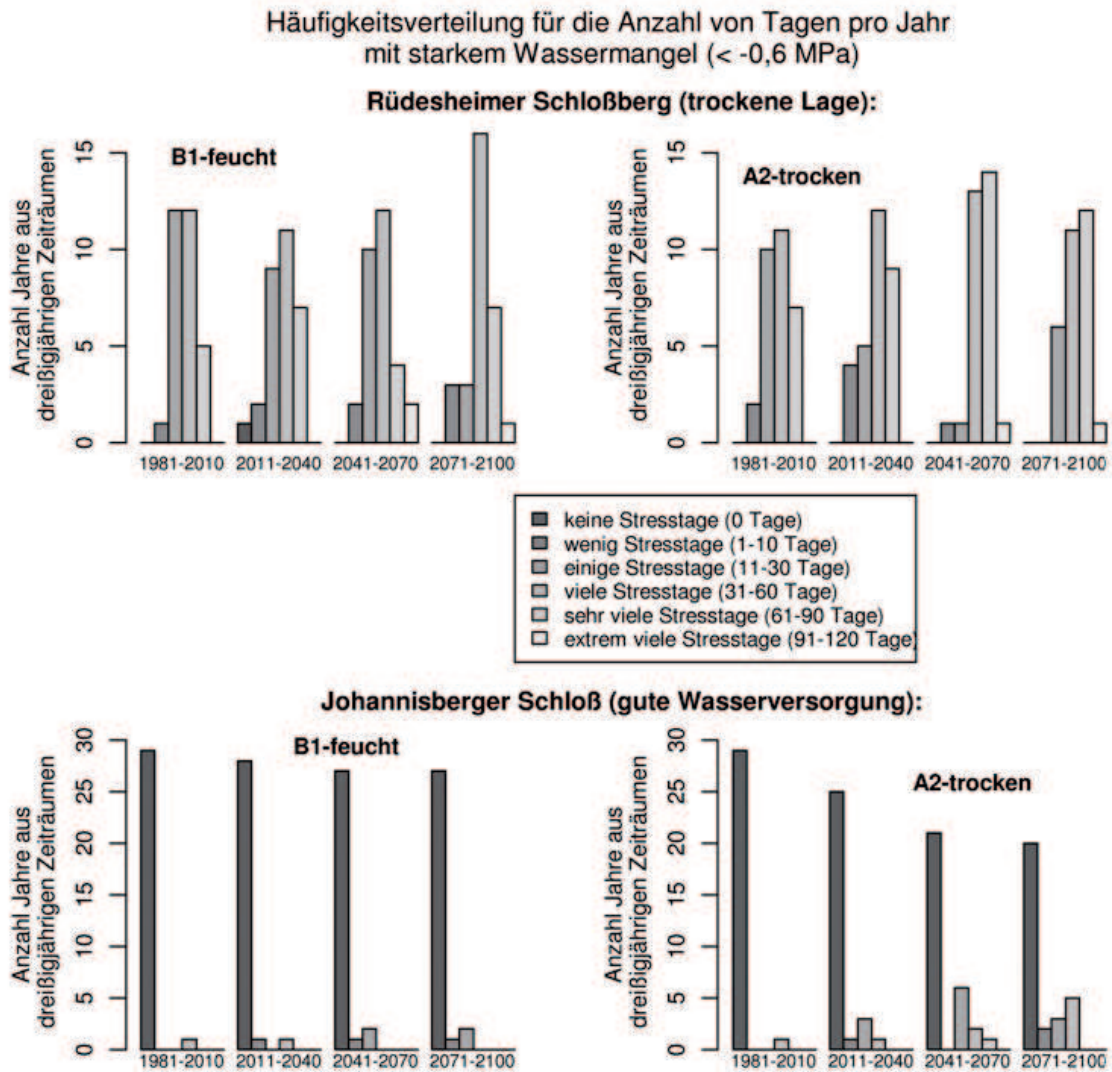


Abb. 5: Beispiel für eine zukünftige Veränderung des Trockenstressrisikos in Weinbergssteillagen. Errechnet wurde die Häufigkeitsverteilung 30-jähriger Zeiträume für Tage mit starkem Wassermangel (frühmorgendliches Wasserpotenzial < 0.6 MPa) für zwei Standorte im Rheingau und die Szenarien A2-trocken und B1-feucht. Datenbasis: WETTREG/ECHAM5, Station Geisenheim. Die Untersuchungen wurden im Rahmen des INKLIM 2012 II plus Projektes des Landes Hessen durchgeführt (Schultz und Hofmann 2008).

Die Analysen zeigen, dass nur eine kleinräumige Betrachtungsweise wertvolle Hinweise für die zukünftige Risikoausprägung gibt. Da im Weinbau Wassermangel bei weißen Rebsorten zur Ausbildung von Fehlparfümen führen - bzw. starke Ernteverluste verursachen kann, ist in Zukunft eine flächendeckende Abschätzung des Wasserhaushalts ganzer Weinbauregionen erforderlich.

Literatur

- Chuine I.; Yiou, P.; Viovy, N.; Seguin, B.; Daux, V.; Le Roy Laduries, E. (2004): Grape ripening as a past climate indicator. *Nature* 432, 289-290.
- Gladstones, J.S. (1992): *Viticulture and Environment*. Winetitles, Adelaide, 310 pp.
- Gruber, B. R.; Schultz, H. R. (2005): Coupling of plant to soil water status at different vineyard sites. *Acta Hort. (ISHS)*, 689, 381-390.
- Huglin, P. (1986): *Biologie et écologie de la vigne*. Payot, Lausanne, 371 pp.
- IPPC (2007): Meehl, G.A.; Stocker, T.F.; Collins, W.D.; Friedlingstein, P.; Gaye, A.T.; Gregory, J.M.; Kitoh, A.; Knutti, R.; Murphy, J.M.; Noda, A.; Raper, S.C.B.; Watterson, I.G.; Weaver, A.J.; Zhao, Z.-C. 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10.pdf>
- Jones, G.V.; White, M.A.; Cooper, O.R.; Storchmann, K. (2005a): Climate change and global wine quality. *Climate Change* 73, 319-343.
- Jones, G.V.; Duchêne, E.; Tomasi, D.; Yuste, J.; Braslavská, O.; Schultz, H.R.; Martínez, C.; Boso, S.; Langellier, F.; Perruchot, C.; Guimberteau, G. (2005): Changes in European Winegrape Phenology and Relationships with Climate. *Proc. XIV GESCO Symposium, Geisenheim, 23.8.05-26.8.05, Vol. I*, 55-61.
- Kenny, G.J.; Harrison, P.A. (1992): The effects of climate variability and change on grape suitability in Europe. *J. Wine Res.* 3, 163-183.
- Keenan, D.J. (2007): Grape harvest dates are poor indicators of summer warmth. *Theor. Appl. Climatol.* 87, 255-256.
- Lebon, E.; Dumas, V.; Pieri, P.; Schultz, H. R. (2003): Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biology*, 30, 699-710.
- Pellegrino, A.; Gozé, E.; Lebon, E.; Wery, J. (2006): A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevines in the field. *Eur. J. Agron.*, 25, 49-59.
- Rahmstorf, S.; Cazenave, A.; Church, J.A.; Hansen, J.E.; Keeling, R.F.; Parker, D.A.; Somerville, R.J.C. (2007): Recent climate observations compared to projections. *Science* 316, 709.
- Schönwiese, C. D.; Janoschitz, R. (2008): *Klima-Trendatlas Deutschland*. Institutsbericht Nr. 4, 2 aktualisierte Auflage. Frankfurt, Institut für Atmosphäre und Umwelt der Universität Frankfurt am Main. http://www.geo.uni-frankfurt.de/fb/fb11/iau/klima/PDF_Dateien/Inst_Ber_4_21.pdf
- Schultz, H.R. (2000): Climate Change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6, 2-12.
- Schultz, H. R.; Lebon, E. (2005): Modelling the effect of climate change on grapevine water relations. *Acta Hort. (ISHS)*, 689, 71-78.
- Schultz, H. R.; Hofmann, M. (2008): Einfluss der Klimaentwicklung auf den Wasserhaushalt von Rebstandorten - Möglichkeiten der Modellierung von Steillagenregionen. Wiesbaden, Beitrag zum Integrierten Klimaschutzprogramm des Landes Hessen (Inklim 2012 II plus) im Auftrag des Hessischen Landesamts für Umwelt und Geologie, 41 pp.
- Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hochaufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Final Report. Umweltbundesamt, Dessau, Germany. www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3133.pdf
- Stock, M.; Gerstengarbe, F.-W.; Kartschall, T.; Werner, P.C. (2005): Reliability of Climate Change Impact Assessments for Viticulture. *Acta Horticulturae* 689, 29-39.

Aspekte der Verdunstung unter besonderer Berücksichtigung des Klimawandels

C. Frühauf

Die Verdunstung

Wasser ist ein kostbares Gut. Mit den durch die Klimaänderung steigenden Temperaturen und der sich ändernden Verteilung der Niederschläge über das Jahr wird der sparsame Umgang mit Wasser immer wichtiger.

Extreme Ereignisse scheinen zuzunehmen. So ist der zu trockene April in den Jahren 2007 und 2009 noch in guter Erinnerung. Gerade in diesem Zeitraum ist eine ausreichende Bodenfeuchte für die landwirtschaftlichen Winterbestände aber auch für das Auflaufen der gedrillten Sommerkulturen von großer Bedeutung. Nach dem wärmsten Winter aller Zeiten (2006 / 2007) stellte der April 2007 die Landwirtschaft vor Herausforderungen und machte deutlich, wie witterungsabhängig das Pflanzenwachstum ist. Solche Ereignisse geben einen Hinweis auf die in der Zukunft zu erwartende Probleme in der Landwirtschaft. Aus diesem Grund sollen an dieser Stelle zuerst die Verhältnisse im Monat April näher untersucht werden (siehe Abb. 1).

Im Mittel (1961-1990) fällt in Braunschweig im April 47,9 mm Niederschlag und die Temperatur liegt bei 7,9°C. In den in Abbildung 1 dargestellten 20 Jahren (1990-2009) waren 18 Jahre wärmer als das vieljährige Mittel. Mit höheren Temperaturen steigt aber auch die Verdunstung der Pflanzenbestände.

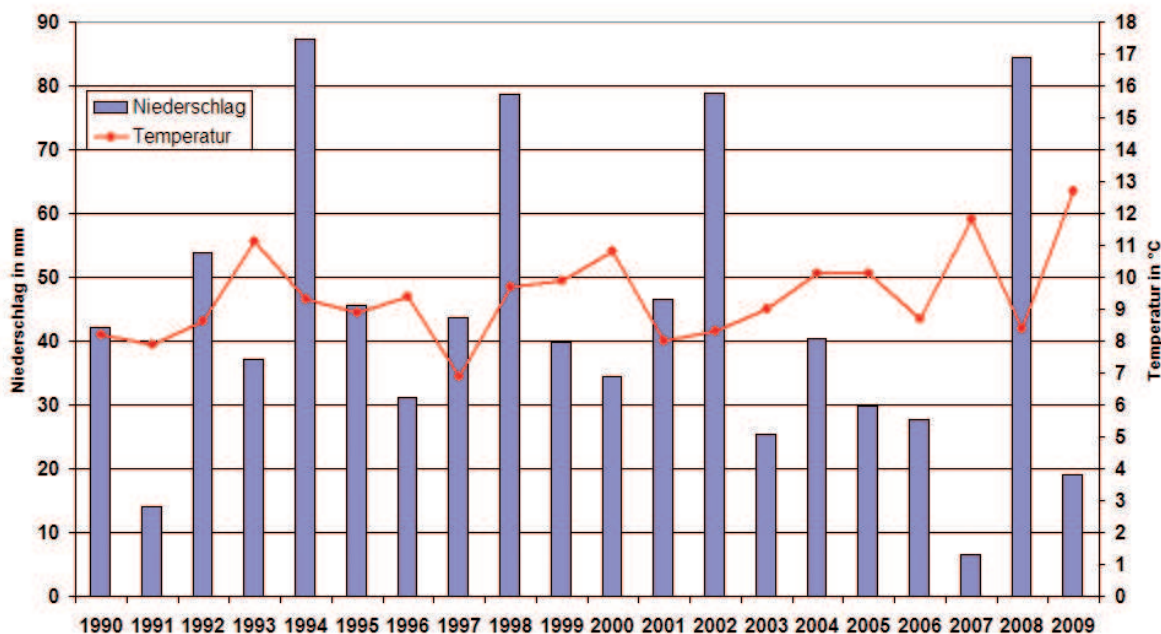


Abb. 1: Monatsmitteltemperatur und Monatssumme des Niederschlages für den Monat April (Braunschweig 1990-2009)

Aus den sehr unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen ergibt sich bei der Verdunstung eine große Variabilität zwischen den einzelnen Jahren (siehe Abb. 2). Meist ist die berechnete Penman-Verdunstung größer als der gefallene Monatsniederschlag. Unterscheiden muss man jedoch zwischen potenzieller (maximal möglicher) und realer Verdunstung. Hierfür liegen sehr unterschiedliche Ansätze zur Berechnung vor. Abb. 3 zeigt hier einen Vergleich. Die reale Verdunstung liegt zum Teil deutlich unter der potenziellen Verdunstung (ETP), da Pflanzen bei zu hohen Temperaturen die Spaltöffnungen schließen, um den Wasserverlust zu begrenzen. Bei gleichen meteorologischen Bedingungen verdunsteten verschiedene landwirtschaftliche Bestände unterschiedlich viel Wasser.

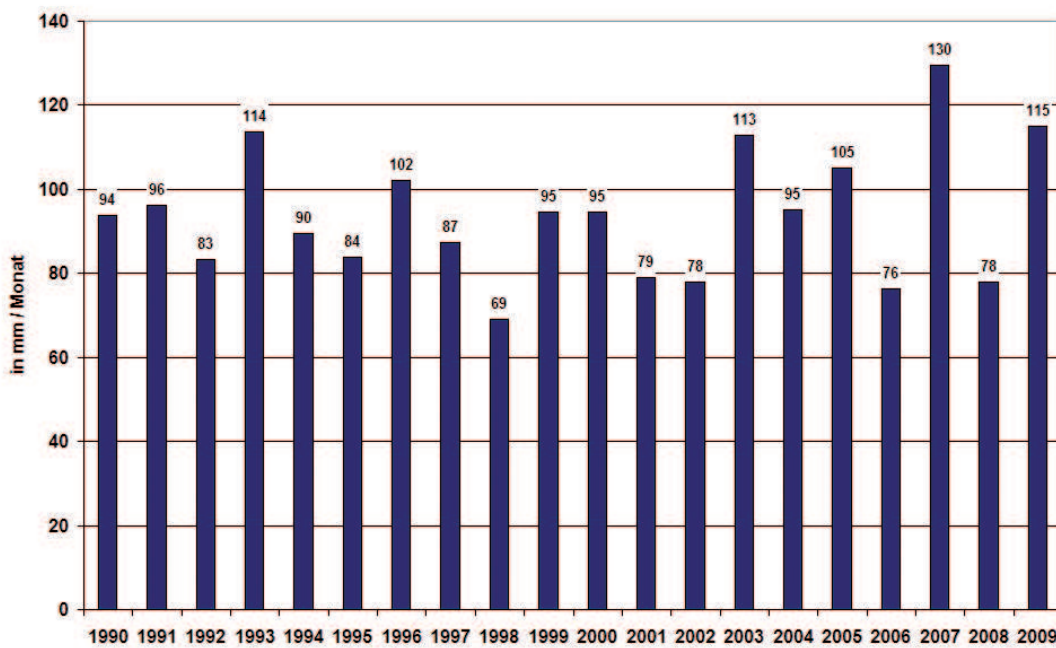


Abb. 2: Penman-Verdunstung für den Monat April (Braunschweig 1990-2009)

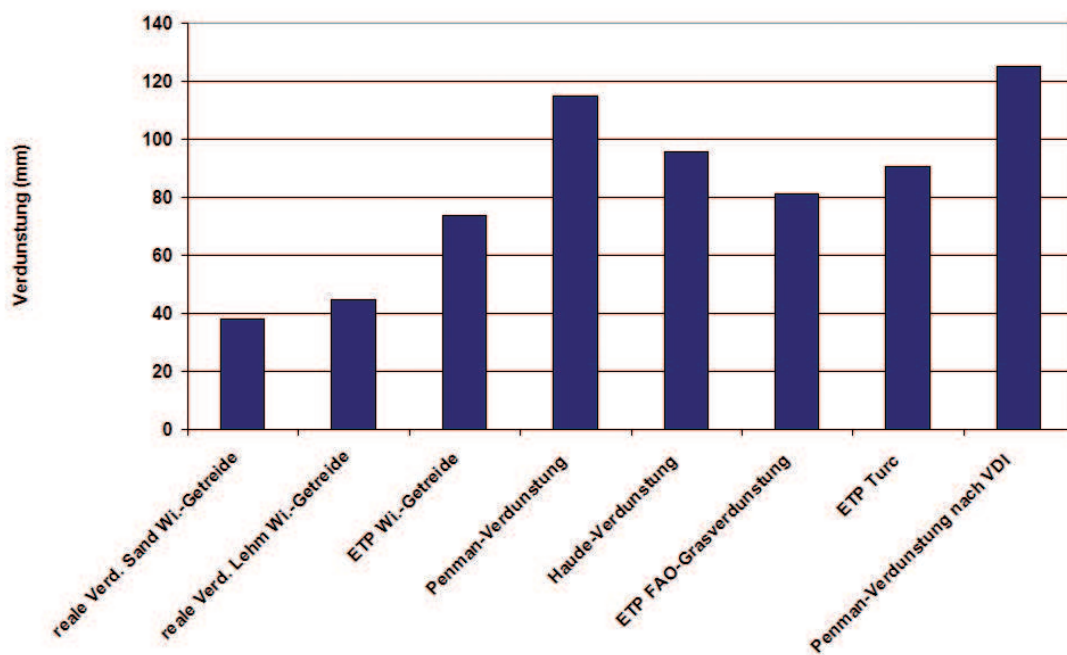


Abb. 3: Berechnete Verdunstungssummen für den Monat April 2009

Mit dem Teilmodell AMBAV kann die aktuelle und potenzielle Verdunstung für 10 landwirtschaftliche Kulturen berechnet werden. Auch die Bodenart beeinflusst die Verdunstung, wie man deutlich am Beispiel für Wintergetreide in Abb. 3 sehen kann. Schwere Böden können im Gegensatz zu leichten Böden mehr Wasser speichern. Auf leichten Böden muss, wenn nicht ausreichend Niederschlag fällt, eher mit Wasserstress gerechnet werden.

Der Wasserhaushalt im Rahmen des Projekts ZWEK des DWD

Die Klimaänderung ist in aller Munde. Immer häufiger hört man die Frage, was genau uns in der Zukunft erwartet. Anpassungsstrategien sind von entscheidender Bedeutung. Nur wenn man sich bereits heute auf die zu erwartenden Klimaänderungen einstellt, können die nachfolgenden Kosten minimiert werden. Hierzu werden regionale Klimamodelle eingesetzt, die die Ergebnisse der Globalmodelle auf das Gebiet von Deutschland in höherer Auflösung übertragen.

Wie sehen nun die „Prognosen“ für die Zukunft aus? Im Gegensatz zu den Wetterprognosen sprechen die Klimaforscher von Projektionen und betrachten Szenarien, die als Eingangsgrößen das angenommene Bevölkerungswachstum, die wirtschaftliche Entwicklung, den Energieverbrauch und die damit verbunden Emissionen von klimarelevanten Treibhausgasen und Aerosolen berücksichtigen.

Die **Z**usammenstellung von **W**irkmodell-**E**ingangsdatensätzen für die **K**limafolgenforschung (ZWEK) ist das Ziel eines im DWD durchgeführten Projektes. Abb. 4 zeigt die im Rahmen des Projektes ZWEK verwendeten Regionalmodelle. Hierbei handelt es sich um zwei numerische (CLM, REMO) und zwei statistische Modelle (STAR, WETTREG), die auf unterschiedlicher Weise regionale Klimaprojektionen erzeugen. So überrascht es nicht, dass die Ergebnisse der Modelle voneinander abweichen.

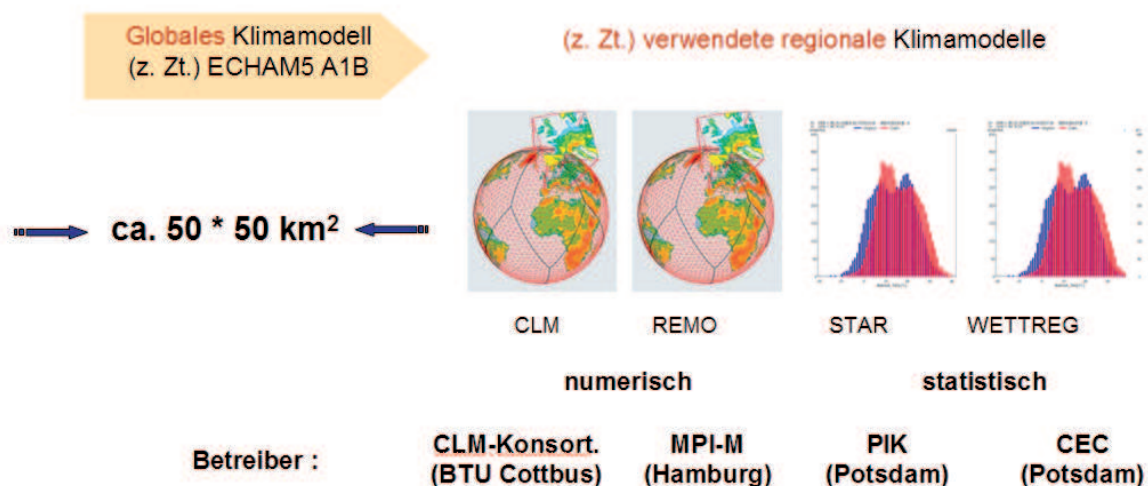


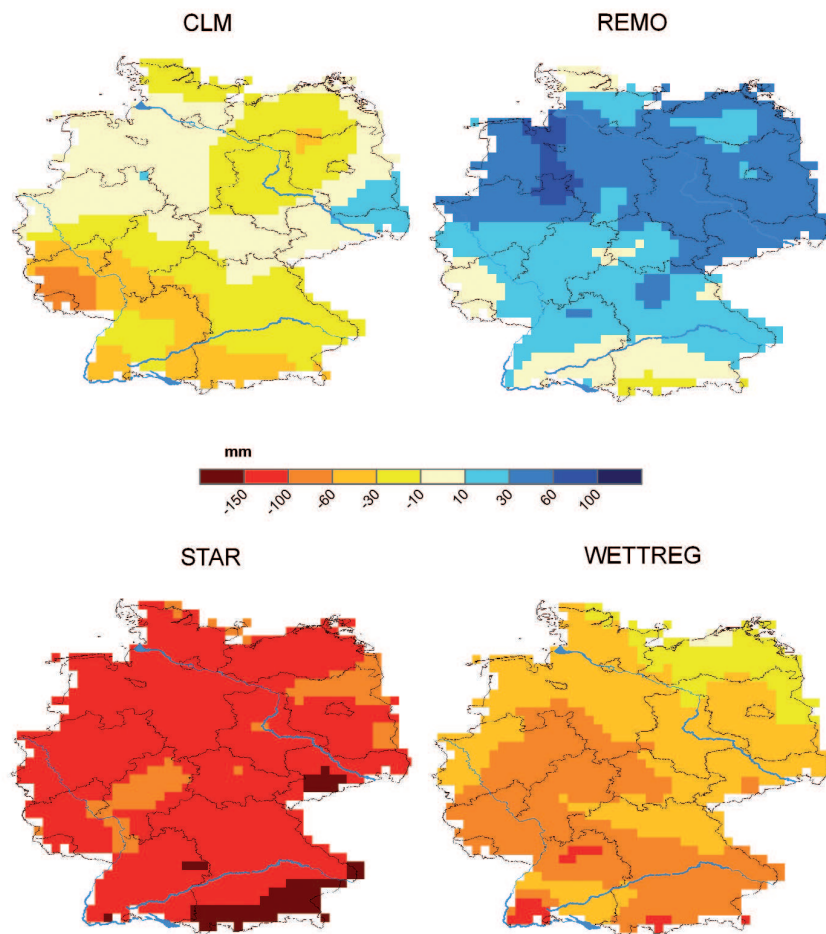
Abb. 4: Regionalmodelle

Im Rahmen des Projektes ZWEK werden die Klimaprojektionen als Eingangsgrößen für verschiedene Wirkmodelle verwendet. Hierbei handelt es sich um Modelle für die Regional- und Stadtplanung, Hydro-, Bio- und Agrarmeteorologie. AMBER ist das für die Agrarmeteorologie eingesetzte Programmpaket. Es wird routinemäßig in der agrarmeteorologischen Beratung verwendet. Über 250 Parameter können mit dem Programmpaket berechnet werden. Im ersten Schritt erfolgt der Test der Daten der Regionalmodelle in der Vergangenheit (1971-2000). Ein Vergleich mit den Messungen aus diesem Zeitraum ist somit möglich. Mit Abweichungen in der gleichen Größenordnung muss auch in der Zukunft gerechnet werden.

Durch die Verwendung der verschiedenen Klimaprojektionen der Regionalmodelle als Eingangsgrößen erhält man ein Ensemble von möglichen Lösungen, das die zu erwartende Spannweite des untersuchten Parameters in der Zukunft angibt.

Der Einfluss der Klimaänderung auf die Verdunstung von Pflanzenbeständen

Für die klimatische Wasserbilanz (Niederschlag minus potenzieller Verdunstung) zeigen die Regionalmodelle für den Zeitraum 2021-2050 sehr unterschiedliche Änderungssignale (siehe Abb. 5).



© Geobasisdaten - BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie

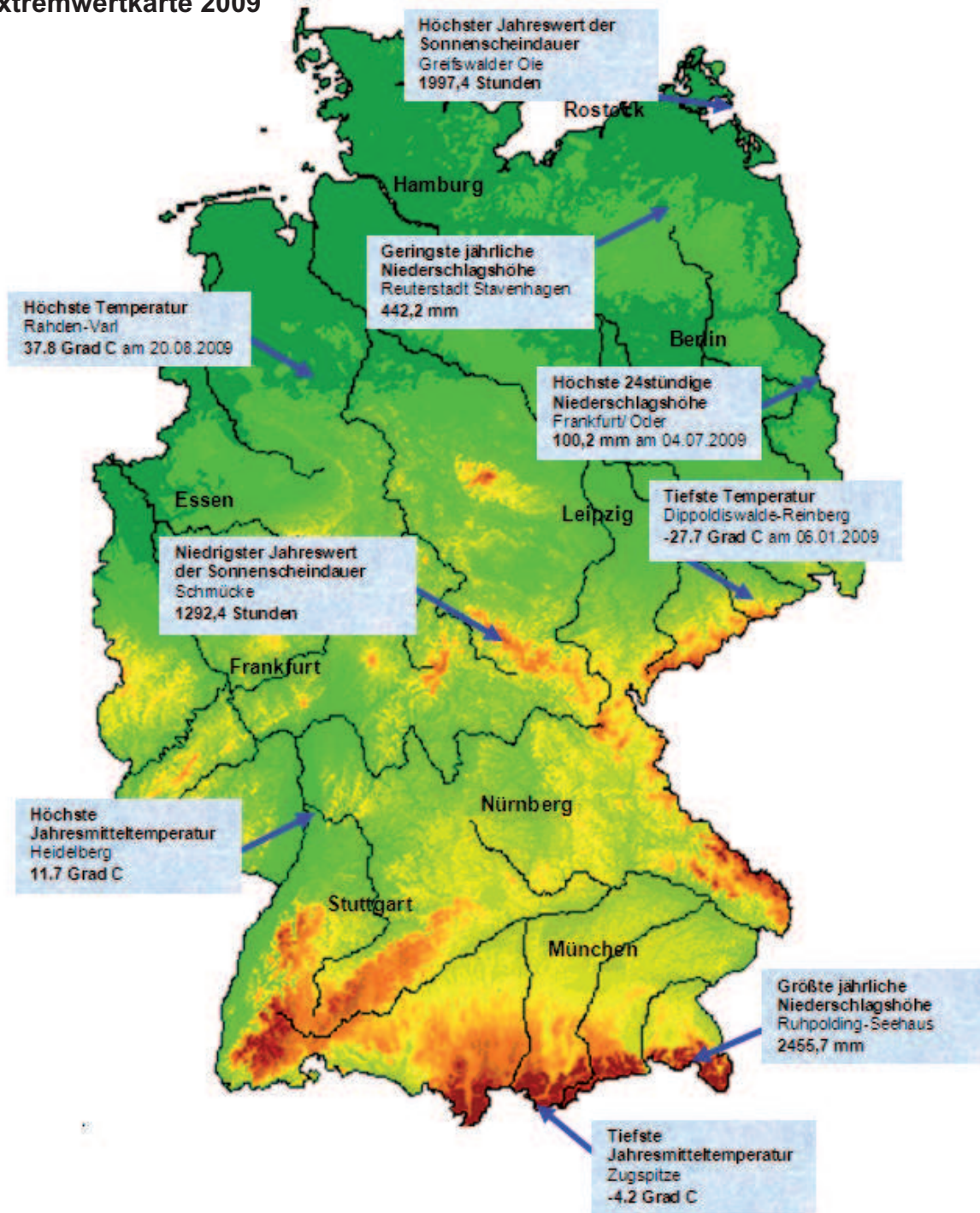
Abb. 5: Trend der klimatischen Wasserbilanz (mm) Monate April bis Oktober für den Zeitraum 2021-2050 gegenüber 1971-2000

Während REMO feuchtere Verhältnisse für den Zeitraum April bis Oktober prognostiziert, zeigen die anderen Modelle unterschiedlich stark ausgeprägte Abnahmen. Zwei Effekte wirken hier zusammen. Zum einen gehen die Sommerniederschläge nach den meisten Modellen (CLM, STAR, WETTREG) zurück, gleichzeitig werden auch höhere Temperaturen erwartet, die zu einer höheren Verdunstung der Pflanzenbestände führt. Beides verringert die klimatische Wasserbilanz.

Auch wenn die Niederschläge in den Sommermonaten abnehmen, so steigt die Wahrscheinlichkeit für Starkregenereignisse, denn wärmere Luft kann deutlich mehr Wasser aufnehmen. Wenn dann Niederschläge fallen, sind innerhalb kurzer Zeit sehr hohe Mengen möglich. Fallen diese auf trockenen Boden, geht den landwirtschaftlichen Kulturen viel Wasser durch oberirdischen Abfluss verloren und es muss mit Schäden durch Erosion gerechnet werden.

Auf den sich ändernden Wasserhaushalt muss sich die Landwirtschaft einstellen. So werden die Speicherung der Winterniederschläge und die Möglichkeit, landwirtschaftliche Flächen zusätzlich zu beregnen, an Bedeutung gewinnen.

Extremwertkarte 2009



Die eingetragenen Extremwerte beruhen auf den Messungen der Beobachtungsstationen des DWD. Im Einzelfall können noch stärkere Extreme aufgetreten sein, die von den Messstellen nicht erfasst wurden. Die Angaben in der Extremwertkarte beruhen auf der Auswertung aller Daten der ca. 600 Klima- und 2000 Niederschlagsstationen des DWD.

Die Witterung in Deutschland 2009

G. Müller-Westermeier, W. Riecke

Übersicht

Insgesamt war das Jahr 2009 in Deutschland wieder deutlich wärmer als in der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90. Es gab etwa soviel Niederschlag wie im Bezugszeitraum, aber erheblich mehr Sonnenschein als im langjährigen Mittel.

Die **Mitteltemperatur** für Deutschland berechnet aus einem interpolierten 1-km-Raster betrug 9,2 °C. Das sind 0,9 K mehr als im Bezugszeitraum 1961-1990. Damit war das Jahr 2009 das 13.wärmste seit 1901. Nur im Januar, Juni, Oktober und Dezember ergaben sich unterdurchschnittliche Temperaturen. Die negativen Abweichungen waren jedoch abgesehen vom Januar nur gering. Die überdurchschnittlich warmen Monate brachten hingegen teilweise sehr große Wärmeüberschüsse. So ergab sich für den April ein neuer Rekordwert für das Gebietsmittel der Durchschnittstemperatur und im November wurde ein neuer Extremwert nur ganz knapp verfehlt.

Im Bezug auf die **Niederschlagshöhe** hatte das Jahr 8 überdurchschnittliche und nur 4 unterdurchschnittliche Monate (Januar, April, August und September). Da die Niederschlagsdefizite aber ausgeprägter waren als die Überschüsse, lag die Jahressumme des Niederschlags nur wenig über dem Referenzwert. Das Gebietsmittel der Niederschlagshöhe für das Jahr 2009 ergab sich zu 812,7 mm. Das sind 23,7 mm oder 3,0 % mehr als in der Referenzperiode. Das Jahr 2009 war damit das 45.nasseste seit Beginn des 20. Jahrhunderts.

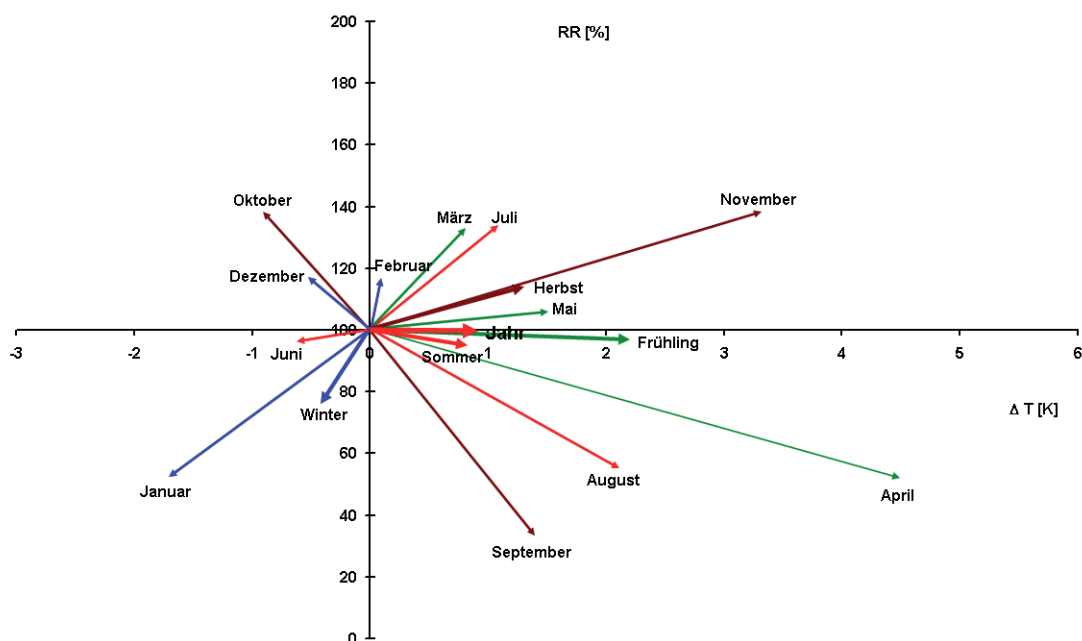


Abb. 1: Thermopluviogramm für Deutschland 2009 (Bezugszeitraum 1961 - 1990)

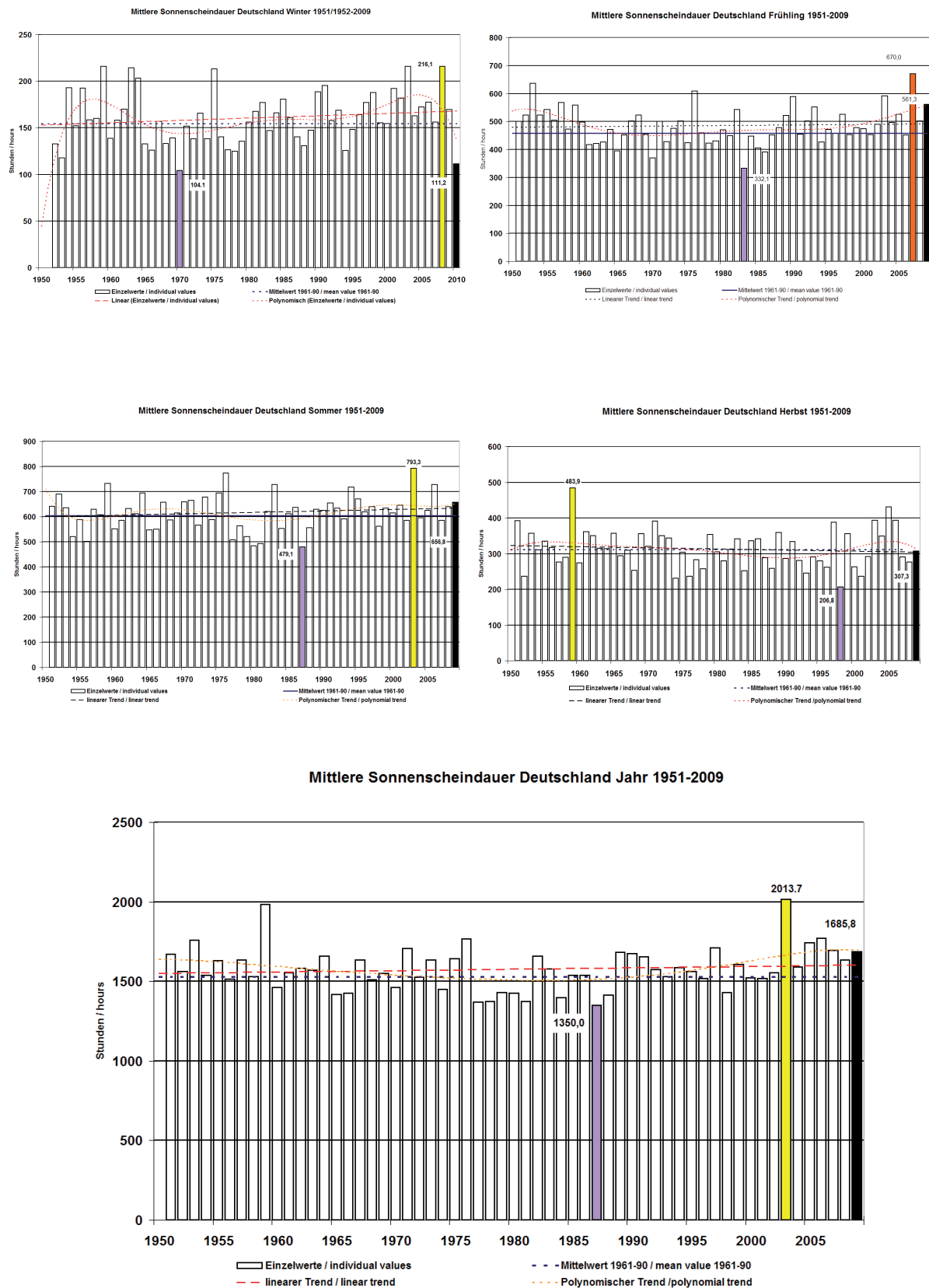


Abb. 3a - 3e: Mittlere Sonnenscheindauer Deutschland 1951 - 2009

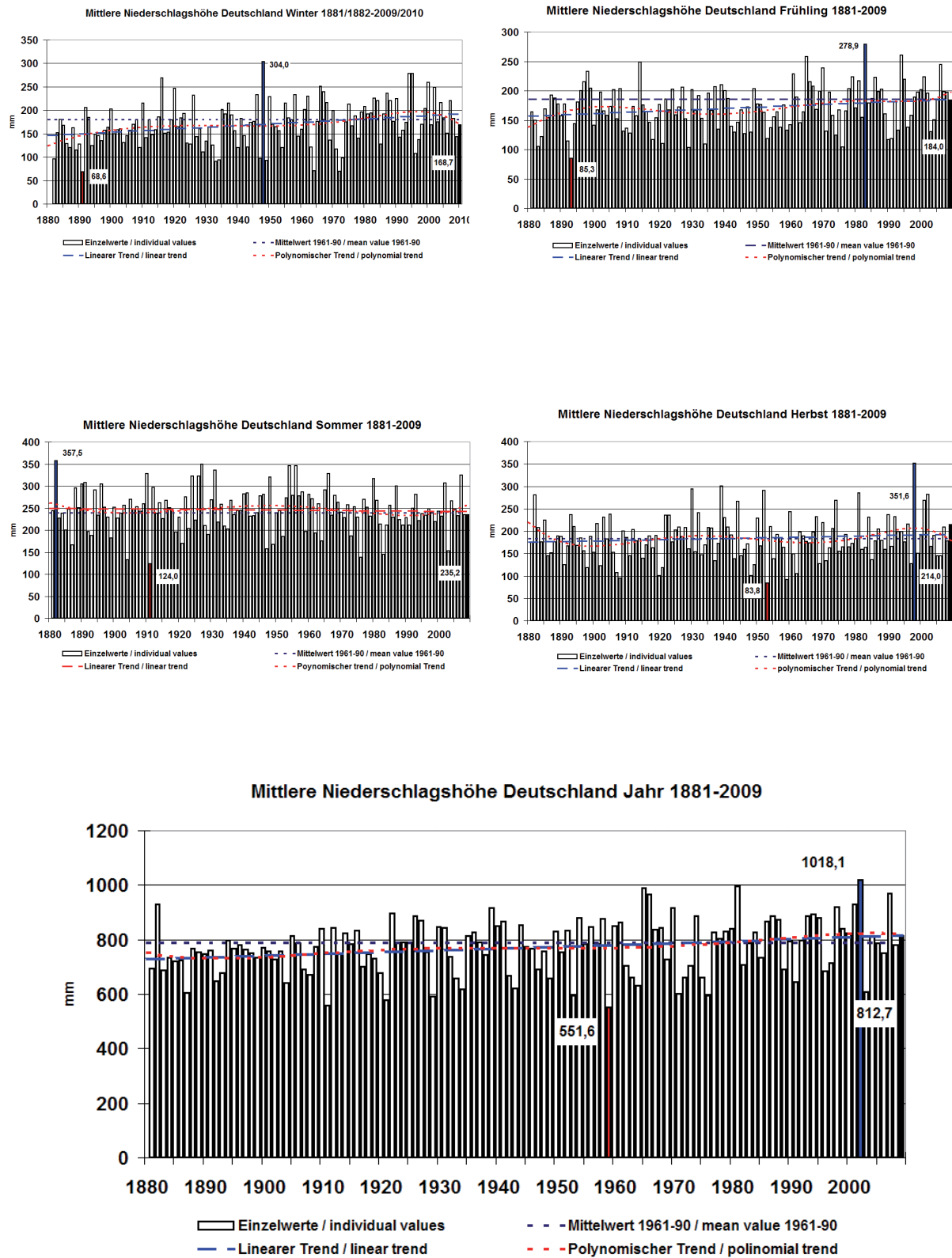


Abb. 4a - 4e: Mittlere Niederschlagshöhe Deutschland 1881 - 2009

Hinsichtlich der **Sonnenscheindauer** ergaben sich wie im Vorjahr 6 überdurchschnittlich sonnenscheinreiche Monate und 6 Monate mit Sonnenscheindefiziten. Die Sonnenscheinüberschüsse waren aber wieder meist höher als die Defizite. Daher wurde das Jahr insgesamt erneut recht sonnenscheinreich. Als Gebietsmittel für Deutschland ergab sich eine Sonnenscheindauer von 1683,5 Std.. Das sind 155,2 Std. oder 10,2 % mehr als in der Referenzperiode. Damit wurde das Jahr 2009 das 10.sonnigste seit 1951.

Die über Deutschland gemittelte Jahressumme der **Globalstrahlung** belief sich 2009 auf 1102 kWh/m². Dabei ist eine Schwankungsbreite zwischen 979 kWh/m² und 1259 kWh/m² gegeben. Niedrige Einstrahlungswerte ziehen sich von Nordrhein-Westfalen ostwärts über die Mittelgebirge in Richtung Thüringen und Erzgebirge. Nördlich und besonders südlich wurden höhere Globalstrahlungswerte erreicht. Das Maximum lag im südlichen Oberrheingraben. Im Nordseeküstenraum wurden teils Werte oberhalb von 1100 kWh/m² angetroffen, an der mecklenburgischen Ostseeküste Werte bis 1180 kWh/m². Von dort erstreckt sich dieses sekundäre Maximum entlang der Oder südwärts.

Mit einer positiven Abweichung von 6,3 % des Flächenmittels der solaren Einstrahlung vom vieljährigen Gebietsmittel erreicht das Jahr 2009 die dritte Stelle seit 1998 nach 2003 und 2006. Somit ergibt sich auch über das siebte Jahr hintereinander ein Überschreiten des Durchschnittswertes 1981 – 2000. Der vieljährige Erwartungswert liegt bei 1037 kWh/m². Das Einstrahlungsplus fällt mit bis zu 13 % über der Nordhälfte Deutschlands am größten aus. Nur in Süddeutschland gab es sehr begrenzt Regionen mit einer leichten negativen Abweichung.

Das Jahr 2009 begann im Januar mit einem Plus an Einstrahlung gegenüber dem vieljährigen Mittel. Gebietsweise wurden über 150 % des Durchschnittswertes registriert. Es folgten dann zwei magere Monate, aber bereits der April zeigte sich wieder von einer positiven Seite. Im weiteren Verlauf hatten die Monate Mai bis September mit mehr oder weniger deutlichen positiven Abweichungen zum langjährigen Mittel aufwarten können. Der Oktober und besonders der November fielen dagegen gebietsweise schlecht aus im Vergleich zu den monatlichen Durchschnittswerten, der Dezember war dann wieder ein durchschnittlicher Monat.

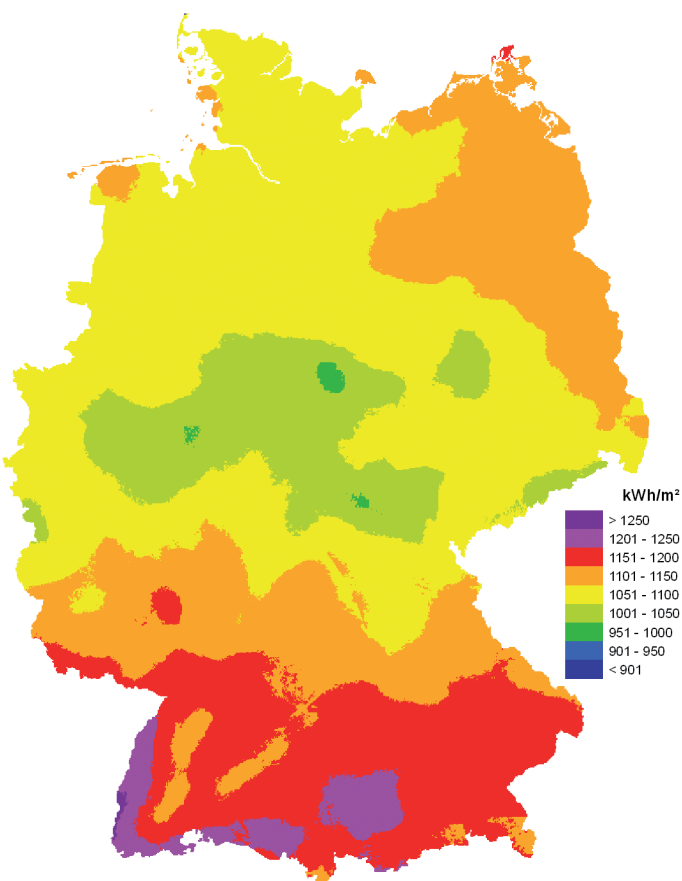


Abb. 5: Globalstrahlungskarte 2009

Der Verlauf der Witterung

Der **Witterungsverlauf** des Jahres lässt sich folgendermaßen beschreiben:

Das Jahr begann mit einem recht kalten, trockenen und extrem sonnenscheinreichen **Januar**. Besonders in den ersten Tagen gab es extreme Kälte mit Lufttemperaturminima in 2m Höhe bis $-27,7\text{ °C}$ (Dippoldiswalde/Sachsen) und bis $-32,6\text{ °C}$ 5 cm über dem Boden (Dresden) am 6. Januar. Auch insgesamt war der Monat kalt, dabei trocken und sehr sonnenscheinreich.

Es folgte ein insbesondere in Norden und Osten niederschlagsreicher **Februar**. Der Monat war äußerst sonnenscheinarm, wobei in der Nordhälfte des Landes teilweise weniger als die Hälfte der normalen Sonnenscheindauer registriert wurde. Hinsichtlich der Temperatur war der Februar insgesamt durchschnittlich, wobei aber einem recht milden Norden ein verhältnismäßig kalter Süden gegenüberstand.

Zusammen mit dem nur geringfügig über dem Temperaturbezugswert liegenden Dezember des Vorjahrs ergab sich so nach zwei extrem milden Wintern wieder ein mit Ausnahme von Norddeutschland recht kalter Winter. Dabei war es allgemein trockener als in der Referenzperiode und die Sonnenscheindauer lag meist über dem langjährigen Mittel. Nur im Nordosten gab es deutlichere Sonnenscheindefizite.

Jahr

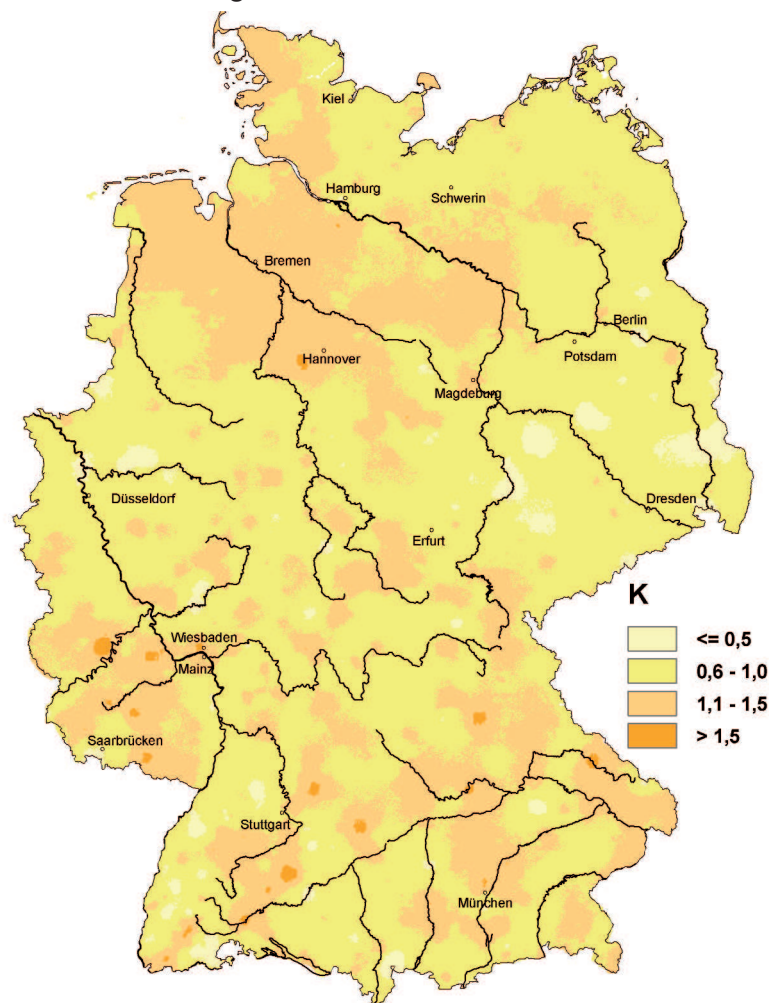
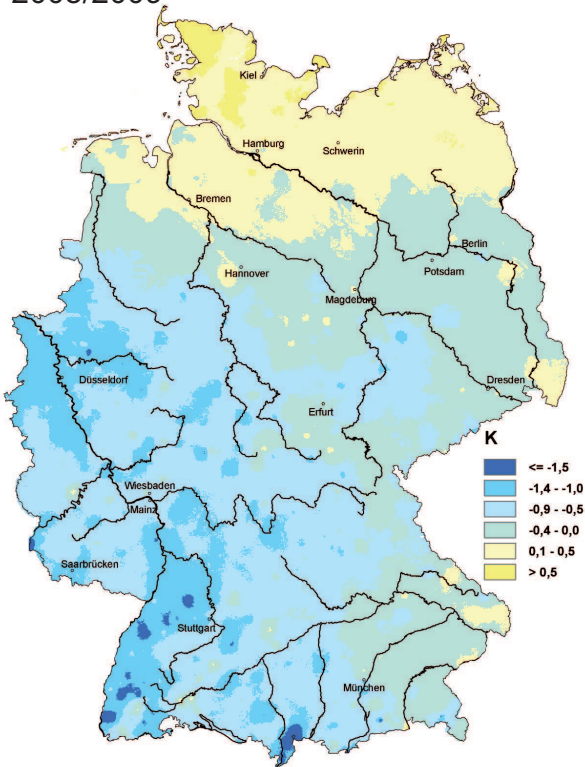
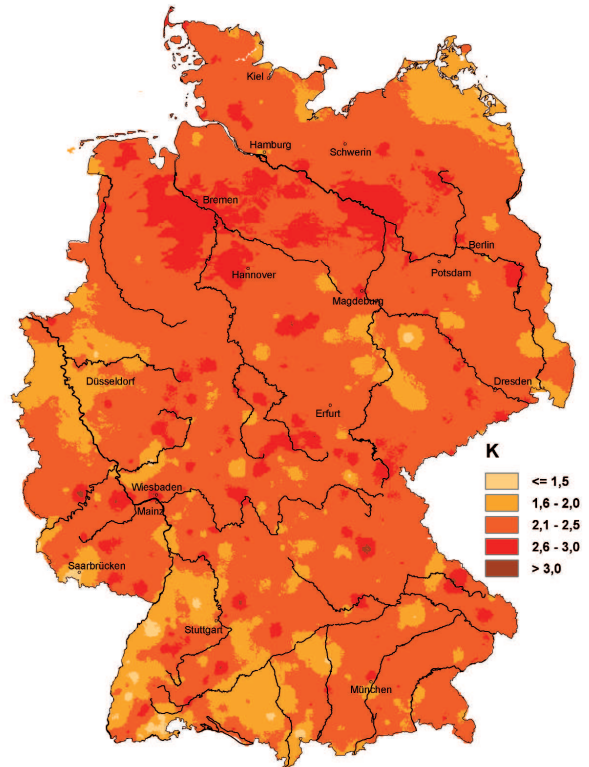


Abb. 6: Temperaturabweichung 2009 vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

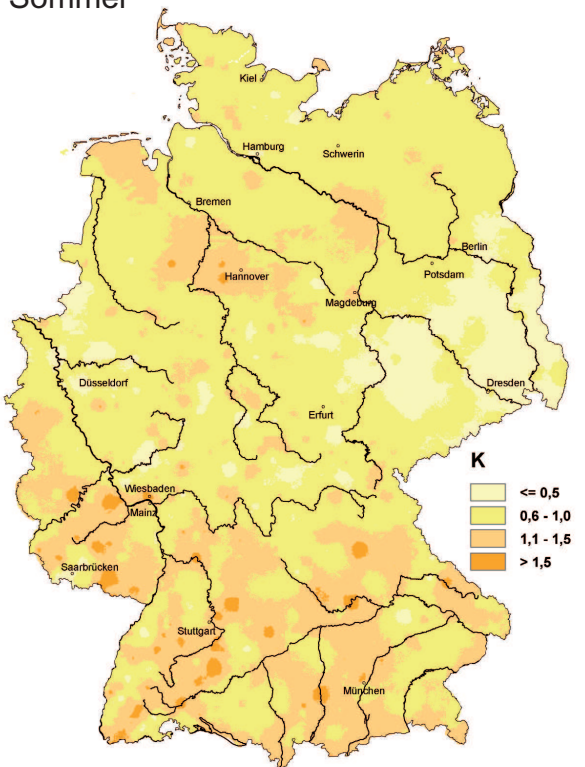
Winter
2008/2009



Frühling



Sommer



Herbst

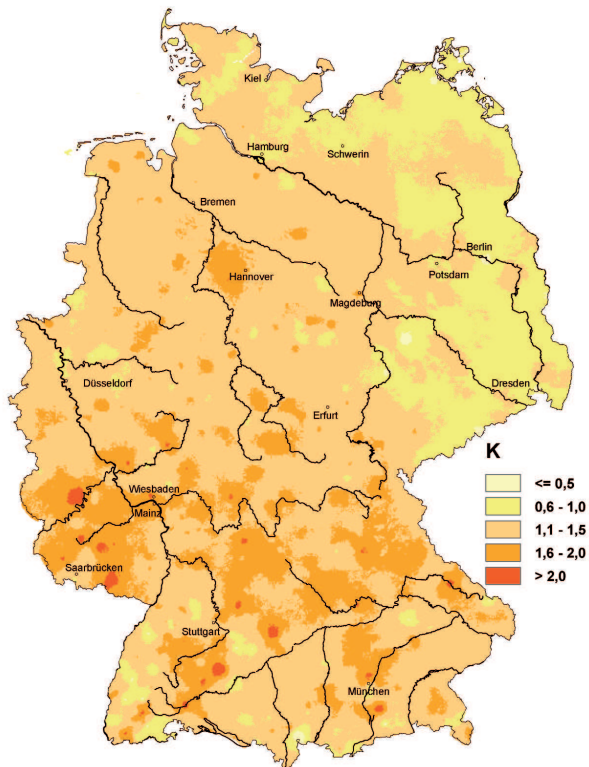


Abb. 6a - 6d: Temperaturabweichung der Jahreszeiten vom vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Jahr

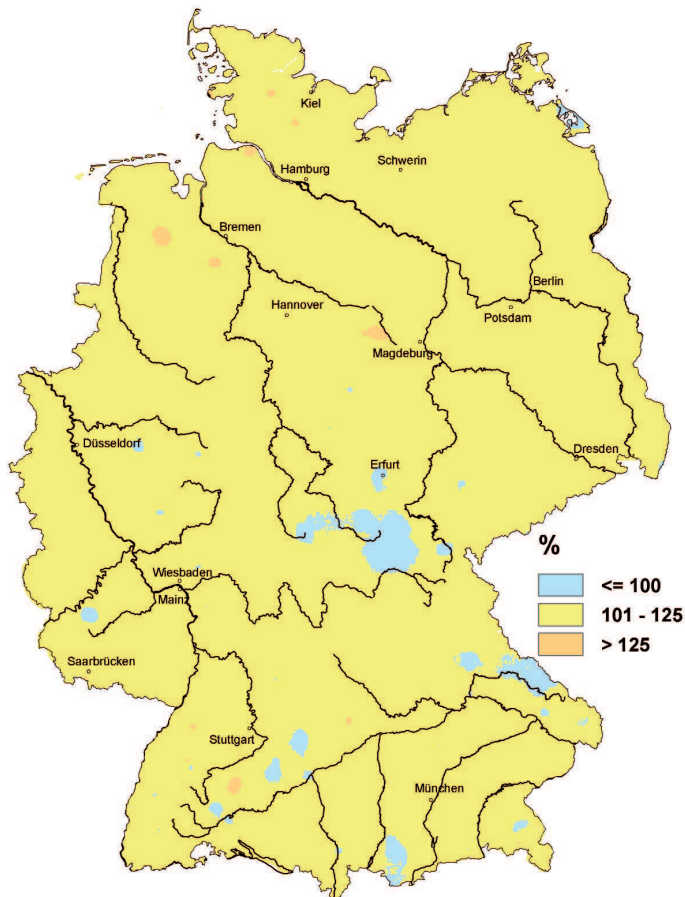
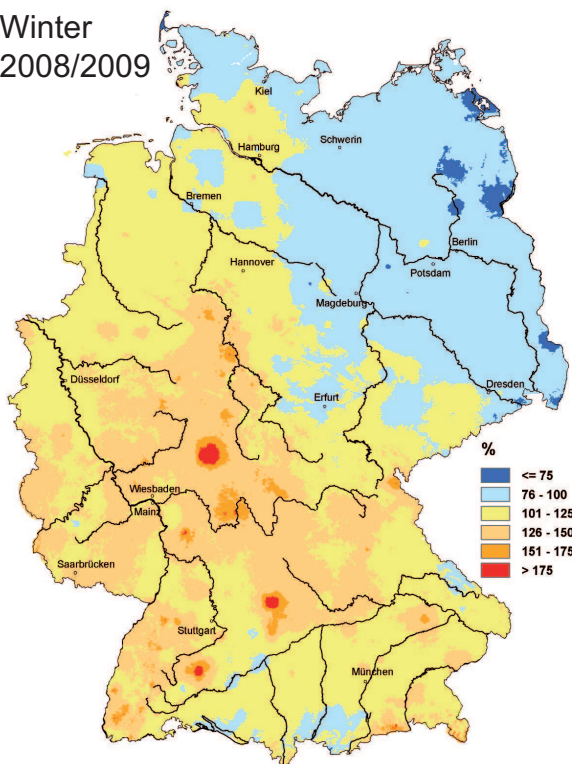


Abb. 7: Sonnenschein der Jahreszeiten in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Winter
2008/2009



Frühling

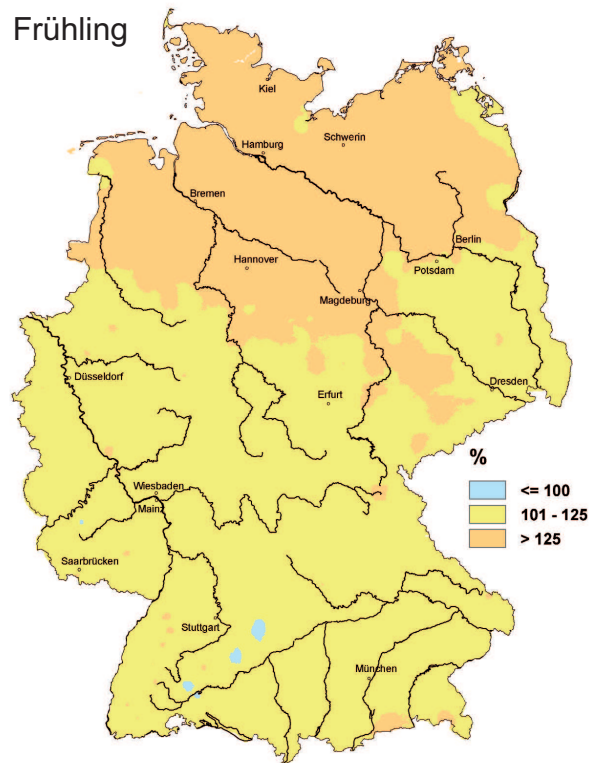
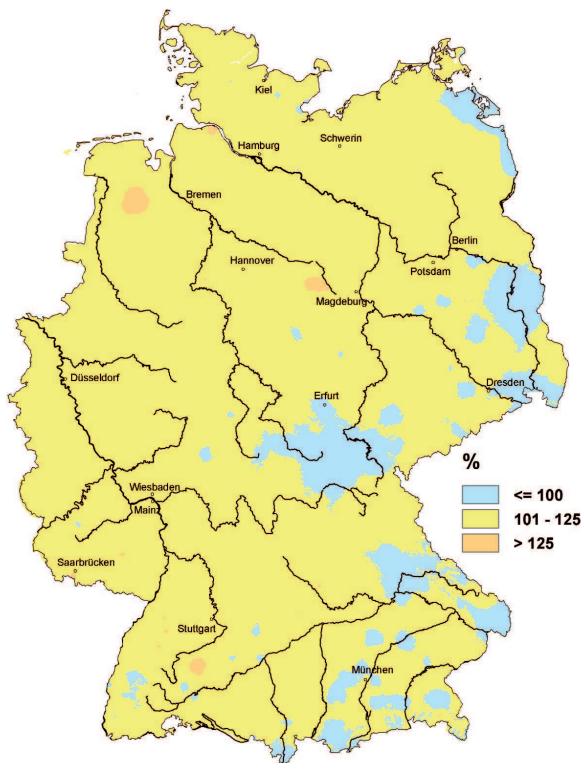


Abb. 7a - 7b: Sonnenschein der Jahreszeiten in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Sommer



Herbst

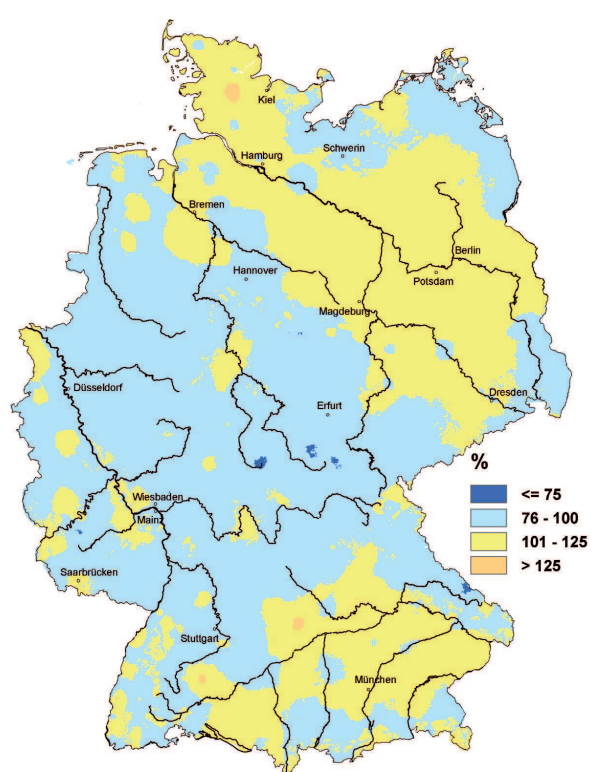


Abb. 7c - 7d: Sonnenschein der Jahreszeiten in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Auch im **März** setzte sich die relativ milde, niederschlagsreiche und sonnenscheinarme Witterung fort. Nur im Süden war es wie im Vormonat teilweise etwas kälter als im Bezugszeitraum. Die Sonnenscheindefizite waren im Süden und Osten besonders markant, während im Nordwesten auch leichte Sonnenscheinüberschüsse auftraten.

Der **April** war ungewöhnlich warm, trocken und sehr sonnenscheinreich. Er wurde sogar noch wärmer als der bisherige Rekordmonat aus dem Jahr 2007 und es ergaben sich schon bis zu 6 Sommertage (Tage mit einem Temperaturmaximum von mindestens 25 °C).

Der **Mai** war ebenfalls warm, insbesondere in Süddeutschland. Der Monat war aber auch insgesamt regenreich, wobei es jedoch große regionale Unterschiede gab. Während im Osten und Süden örtlich mehr als das doppelte der normalen Regenmenge fiel, war es in Westen teilweise weniger als die Hälfte. Es gab mehrfach starke Gewitter, insbesondere am 12. Mai im Südwesten, wobei Hageldecken bis zu 15 cm entstanden (Calw/Schwarzwald).

Der Frühling insgesamt wurde sehr warm und vor allem im Norden sonnenscheinreich. Er war im Gebietsmittel durchschnittlich in Bezug auf Niederschlag. Dabei gab es im Süden und Osten teilweise beträchtliche Überschüsse, während es im Norden und Westen meist etwas zu trocken war.

Jahr

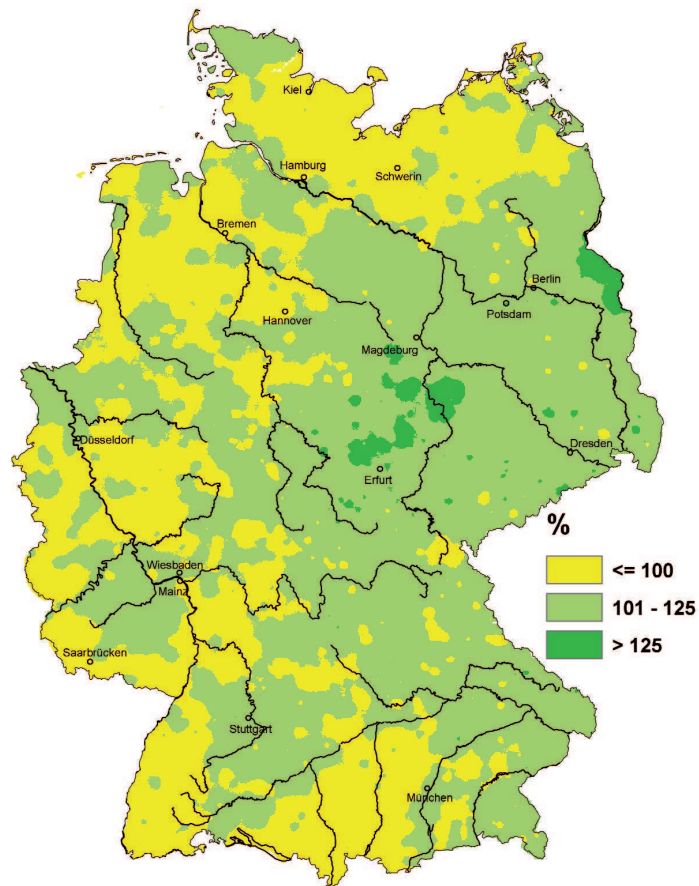
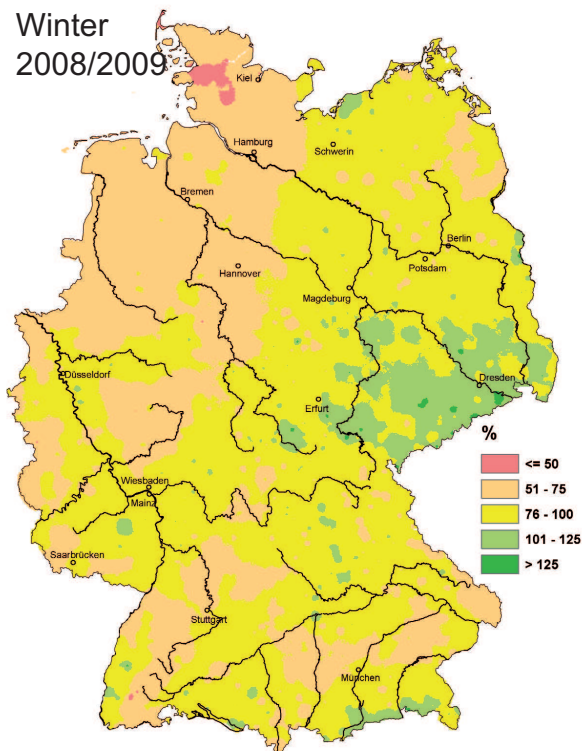


Abb. 8: Niederschlag 2009 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Winter
2008/2009



Frühling

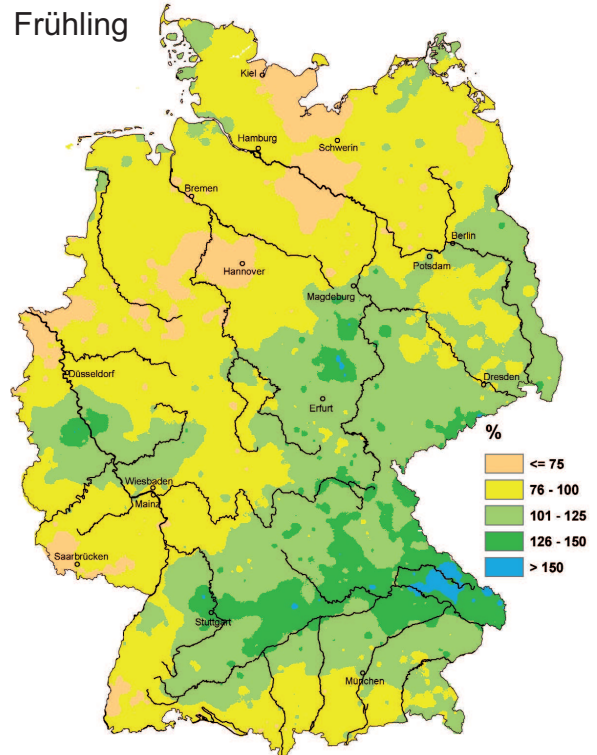
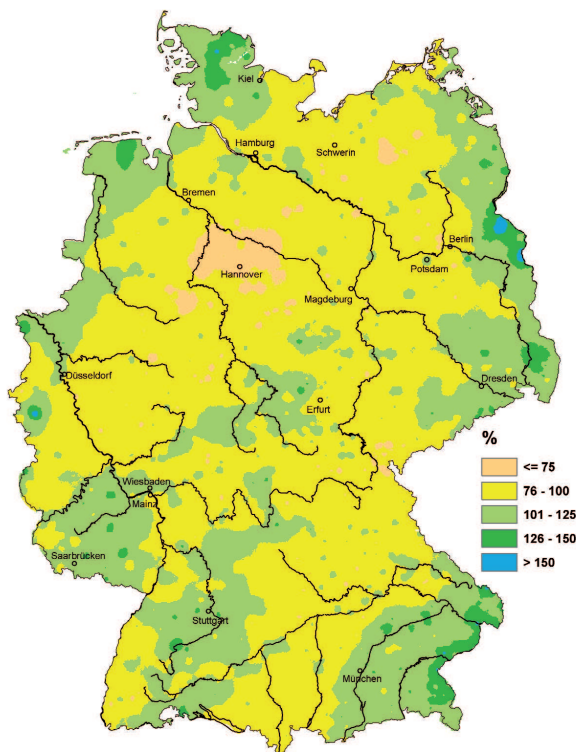


Abb. 8a - 8b: Niederschlag 2009 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Sommer



Herbst

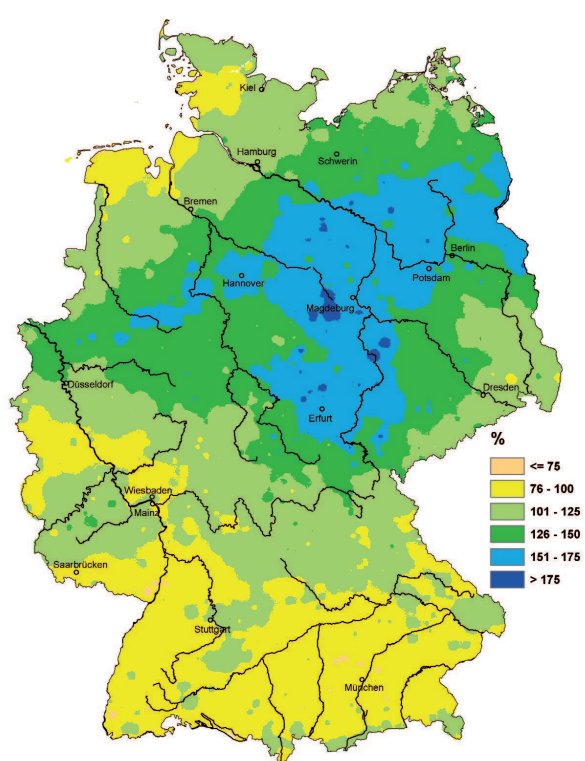


Abb. 8c - 8d: Niederschlag 2009 in Prozent des vieljährigen Mittel 1961 - 1990

Der Sommer begann mit einem nach Nordosten hin kühlen, aber im Hinblick auf Regen und Sonnenschein insgesamt durchschnittlichen **Juni**. Dabei blieb es in den mittleren Landesteilen recht trocken, während im Südwesten und Süden, sowie in den nördlichen und östlichen Randgebieten Niederschlagsüberschüsse auftraten. Beim Verhältnis der Sonnenscheindauer zum langjährigen Mittel gab es eine deutliche Abnahme von West nach Ost. Es gab weitere schwere Gewitter, wobei am 6. und 7. Juni in Köln sowie in Schleswig-Holstein (Grossolt (nahe Flensburg) und Neumünster) Tornados auftraten, die zu erheblichen Sachschäden führten.

Der **Juli** war dann wieder recht warm, aber regenreich und durchschnittlich in Bezug auf Sonnenschein, so dass er insgesamt als nicht sehr sommerlich in Erinnerung blieb. Erneut traten bei Gewittern einzelne Tornados auf (am 6. Juli in Würth (südliche Rheinpfalz) und am 22. Juli in Herne).

Erst im **August** kam der Sommer richtig in Schwung. Dieser Monat war warm, trocken und extrem sonnenscheinreich,

Damit ging auch das Jahr 2009 wieder mit einem warmen Sommer in die Klimageschichte ein, während Niederschläge und Sonnenschein recht durchschnittlich waren.

Auch der **September** war warm, abgesehen von Thüringen und Sachsen-Anhalt trocken sowie sonnenscheinreich mit teilweise noch sommerlicher Witterung.

Im **Oktober** ging das spätsommerliche Wetter zunächst weiter, wobei ein neuer Temperaturextremwert für diesen Monat registriert wurde (30,9 °C am 9. Oktober in Müllheim (südlich von Freiburg)). Es kam dann aber zu einem markanten Temperatursturz, dem Schneefälle bis in die Niederungen folgten. Dabei gab es in den teilweise noch belaubten Wäldern erheblichen Schneebruch in Sachsen und im östlichen Bayern. Insgesamt wurde der Oktober etwas zu kühl. Die Niederschlagssummen waren in Ostdeutschland extrem hoch, während es im Südwesten und an der Nordsee recht trocken war. Es gab recht wenig Sonnenschein mit besonders deutlichen Defiziten in den östlichen Landesteilen.

Im **November** kehrte nach wenigen kalten Tagen die Wärme nochmals zurück, so dass der Monat nur ganz knapp einen neuen Spitzenplatz in der Rangfolge der warmen Novembermonate verpasste. Die Niederschläge waren meist überdurchschnittlich mit Schwerpunkten in Nord- und Ostdeutschland. Dabei gab es abgesehen vom Südosten relativ wenig Sonnenschein.

Der Herbst insgesamt wurde sehr mild, insbesondere im Norden und Osten relativ niederschlagsreich sowie sonnenscheinarm.

Im **Dezember** setzte sich die milde Witterung zunächst fort. Zur Monatsmitte gab es dann aber eine markante Kälteperiode, so dass der Monat noch geringfügig kälter als in der Bezugsperiode ausfiel.

In den Tabellen 1 - 4 sind die Gebietsmittelwerte der Temperatur, der Niederschlagshöhe, der Sonnenscheindauer sowie der Anzahl der Tage, an denen bestimmte klimatische Bedingungen herrschten, für die deutschen Bundesländer in den einzelnen Monaten sowie in den meteorologischen Jahreszeiten und im gesamten Jahr zusammengestellt. Dabei ist jeweils der aktuelle Wert zusammen mit der Abweichung von Wert der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90 angegeben.

Bei den Tagen mit klimatischen Besonderheiten spiegeln sich einige Charakteristika des Jahres wieder. So ist aufgrund der Wärme des Jahres die Zahl der Frosttage (Temperaturminimum unter 0 °C) in ganz Deutschland und die Zahl der Eistage (Temperaturmaximum unter 0 °C) in den meisten Bundesländern geringer als in der Bezugsperiode 1961-90, während die Anzahl der Sommertage (Temperaturmaximum mindestens 25 °C) überall stark erhöht ist. Da der Sommer aber relativ viele wolkenreiche Tage hatte und größere Hitzeperioden fehlten, lag die Zahl der heißen Tage (Temperaturmaximum mindestens 30 °C) nur wenig über dem langjährigen Mittel.

Die Anzahl der Tage mit starkem Niederschlag (mindestens 10 mm) entsprach wie die gesamte Niederschlagshöhe weitgehend dem langjährigen Mittel. Gleiches gilt im Gebietsmittel von Deutschland auch für die sommerlichen Hagelereignisse. Hier gab es jedoch große regionale Unterschiede. In Baden-Württemberg sowie in den Stadtstaaten Hamburg und Berlin gab es erheblich mehr Hagelfälle, während in Rheinland-Pfalz und im Saarland, in Schleswig-Holstein sowie in Thüringen und Sachsen Hagel deutlich seltener als im Bezugszeitraum war.

Land	Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Dezember		Frühling		Sommer		Herbst		Winter		Jahr	
	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009	Abw. von 1961-90	2009		
Hamburg	0,3	-0,3	1,7	0,5	5,3	1,4	12,2	4,7	13,2	0,7	14,4	-1,4	18,4	1,4	18,7	1,9	14,9	1,2	8,3	-1,5	8,5	3,3	0,8	-1,1	10,2	2,3	17,1	0,6	10,6	1,0	1,5	0,2	9,7	0,9
Bremen	0,3	-0,6	2,2	0,8	5,5	1,4	12,6	4,9	13,5	1,1	14,7	-0,8	18,1	1,3	18,7	2,0	15,0	1,3	8,9	-1,0	8,8	3,5	1,3	-1,0	10,5	2,5	17,2	0,8	10,9	1,3	1,6	0,1	10,0	1,1
Berlin	-1,9	-1,4	0,9	0,3	5,4	1,4	13,4	5,0	14,4	0,8	15,7	-1,3	19,6	1,3	20,2	2,4	15,8	1,7	8,1	-1,5	7,7	3,0	0,1	-1,1	11,1	2,4	18,5	0,8	10,5	1,1	0,3	-0,2	10,0	0,9
Schleswig-Holstein	0,4	0,1	1,3	0,6	4,8	1,6	10,8	4,2	12,4	1,0	14,0	-1,0	17,8	1,5	18,1	1,9	14,5	1,4	8,3	-1,2	8,1	3,1	0,9	-0,9	9,4	2,3	16,6	0,8	10,3	1,1	1,4	0,5	9,3	1,0
Niedersachsen	-0,4	-1,0	1,8	0,7	5,2	1,3	12,3	4,8	13,5	1,2	14,7	-0,7	18,1	1,4	18,6	2,1	14,8	1,3	8,6	-1,0	8,6	3,7	0,9	-1,0	10,3	2,4	17,1	0,9	10,7	1,3	1,1	-0,1	9,7	1,1
Nordrhein-Westfalen	-1,0	-2,2	2,1	0,4	5,1	0,7	12,4	4,5	13,8	1,3	15,1	-0,4	18,0	1,0	18,5	1,8	14,6	1,0	9,1	-0,7	8,8	3,7	1,4	-0,9	10,5	2,2	17,2	0,8	10,9	1,3	0,9	-0,9	9,8	0,9
Rheinland-Pfalz	-2,0	-2,2	1,4	0,3	4,7	0,5	12,2	4,4	14,0	1,8	15,4	0,0	17,9	0,8	18,9	2,3	14,8	1,3	8,9	-0,2	7,8	3,6	1,2	-0,1	10,3	2,2	17,4	1,0	10,5	1,6	0,1	-0,8	9,6	1,0
Saarland	-1,5	-2,1	1,6	0,0	4,9	0,3	12,2	4,0	14,4	1,9	15,8	0,2	18,0	0,5	19,2	2,3	15,0	1,3	9,3	-0,1	7,8	3,5	1,5	0,0	10,5	2,1	17,7	1,0	10,7	1,6	0,3	-0,9	9,8	1,0
Baden-Württemberg	-2,8	-2,1	-0,2	-0,6	3,6	0,0	11,2	3,8	14,2	2,4	15,4	0,3	17,7	0,6	18,7	2,3	14,6	1,3	8,4	-0,3	6,7	3,1	0,5	0,2	9,7	2,1	17,3	1,1	9,9	1,4	-0,9	-1,0	9,0	0,9
Hessen	-2,9	-2,5	0,8	0,2	4,3	0,6	12,2	4,6	13,7	1,6	14,8	-0,4	17,8	1,0	18,4	2,0	14,5	1,2	8,2	-0,6	7,5	3,7	0,5	-0,4	10,0	2,3	17,0	0,8	10,0	1,4	-0,5	-0,8	9,1	0,9
Bayern	-3,9	-2,0	-1,0	-0,4	3,1	0,2	11,4	4,4	13,7	2,0	14,8	-0,1	17,5	0,8	18,3	2,3	14,4	1,5	7,7	-0,5	5,9	3,1	-0,5	0,2	9,4	2,2	16,9	1,0	9,3	1,4	-1,6	-0,6	8,5	1,0
Mecklenburg-Vorpommern	-0,9	-0,3	0,3	0,3	4,5	1,6	11,0	4,2	12,7	0,8	14,2	-1,2	18,5	1,7	18,8	2,1	14,9	1,6	7,8	-1,5	7,2	2,7	0,0	-1,1	9,4	2,2	17,1	0,8	10,0	0,9	0,5	0,3	9,1	0,9
Brandenburg	-2,3	-1,5	0,5	0,4	5,0	1,4	12,6	4,7	13,9	0,8	15,2	-1,3	19,1	1,2	19,4	2,0	15,2	1,5	7,8	-1,5	7,4	3,0	-0,1	-1,0	10,5	2,3	17,9	0,6	10,2	1,0	0,0	-0,1	9,5	0,8
Sachsen-Anhalt	-2,0	-1,7	0,9	0,5	5,0	1,3	12,2	4,5	13,9	1,1	14,9	-1,2	18,8	1,6	19,4	2,2	15,1	1,4	8,0	-1,3	8,0	3,5	0,1	-1,0	10,4	2,3	17,7	0,8	10,4	1,2	0,1	-0,3	9,5	0,9
Sachsen	-3,0	-1,8	0,0	0,2	4,2	1,0	12,1	4,8	13,4	1,1	14,4	-1,2	18,1	1,0	18,7	1,9	14,7	1,3	7,5	-1,5	7,1	3,3	-0,4	-0,7	9,9	2,3	17,1	0,5	9,8	1,0	-0,6	-0,3	8,9	0,8
Thüringen	-3,3	-2,0	-0,1	0,3	3,7	0,9	11,5	4,7	13,2	1,5	14,0	-0,9	17,5	1,1	18,2	2,2	14,2	1,4	7,4	-1,0	7,0	3,7	-0,4	-0,4	9,4	2,4	16,6	0,8	9,5	1,4	-1,0	-0,5	8,6	0,9
Deutschland	-2,2	-1,7	0,5	0,1	4,3	0,8	11,8	4,5	14,5	2,4	16,9	1,6	18,0	1,1	17,4	0,9	12,4	-0,9	9,1	0,1	5,1	1,0	1,1	0,2	9,9	2,3	17,2	0,9	10,1	1,3	-0,2	-0,4	9,2	0,9

Tab. 1: Gebietsmittel der Durchschnittstemperatur

Land	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr																	
	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90	Proz. von 1961-90																	
Hamburg	36,0	58,7	50,4	120,8	76,2	138,4	22,7	45,8	49,0	84,0	64,0	91,2	111,4	144,5	38,5	54,5	33,2	46,7	82,7	138,0	111,8	165,9	75,0	106,6	147,9	90,7	213,9	98,2	227,6	116,5	113,1	64,9	750,8	100,1
Bremen	41,1	69,2	52,0	129,4	66,1	130,0	49,1	39,8	42,8	71,5	72,9	99,7	110,8	147,5	22,5	31,9	30,4	49,6	72,8	124,8	106,1	161,4	63,4	99,2	127,9	80,7	206,3	94,2	209,3	112,9	108,7	66,1	700,1	96,4
Berlin	20,7	48,8	48,2	137,2	43,7	118,7	2,9	7,3	87,8	161,4	73,7	105,5	65,9	123,7	26,6	45,0	34,1	74,8	82,8	237,1	73,6	153,7	64,2	120,3	134,4	102,2	166,2	91,2	190,5	148,4	105,4	80,8	624,1	108,9
Schleswig-Holstein	32,2	50,1	43,4	104,4	62,1	118,2	15,6	31,8	54,6	102,1	77,7	112,6	111,6	139,4	52,1	71,2	43,0	57,0	80,3	109,6	128,0	153,5	72,7	99,2	132,3	85,3	241,4	108,6	251,3	108,3	105,2	58,5	773,3	98,1
Niedersachsen	37,4	60,3	61,5	139,1	71,0	129,6	19,7	37,9	51,4	83,9	63,6	83,3	105,1	144,6	30,6	43,5	37,9	63,2	86,9	156,3	104,7	157,9	79,6	113,8	142,0	84,6	199,4	90,9	229,5	126,2	123,3	69,6	749,4	100,5
Nordrhein-Westfalen	42,9	55,8	78,1	135,9	95,1	133,7	36,0	58,2	47,0	65,3	70,9	84,2	112,3	136,4	37,0	50,8	44,9	66,9	95,4	152,9	122,8	157,1	95,5	108,2	178,1	86,9	220,3	92,0	263,0	126,7	166,3	74,7	877,8	100,4
Rheinland-Pfalz	48,9	73,4	58,0	101,3	78,4	123,5	46,2	80,8	57,6	82,1	95,7	125,6	91,9	127,8	34,9	50,0	37,8	63,1	54,2	85,4	111,0	147,6	94,1	123,7	182,2	95,5	222,6	102,1	203,1	102,3	156,8	78,5	808,8	100,2
Saarland	60,8	70,7	62,1	86,6	86,9	109,9	38,7	60,8	38,9	49,4	88,4	109,9	105,9	146,8	42,9	58,7	45,8	66,0	51,3	66,9	147,7	155,3	130,1	132,2	164,5	74,2	237,2	105,1	244,8	101,5	188,2	73,8	899,5	95,2
Baden-Württemberg	35,9	47,9	66,2	97,6	102,9	146,6	32,9	42,3	117,7	123,1	96,8	90,6	151,2	166,7	47,9	50,8	33,8	48,5	76,2	112,6	96,4	117,6	110,1	133,9	253,5	104,1	295,9	101,4	206,5	94,1	172,6	77,1	968,1	98,8
Hessen	40,2	63,7	65,9	126,7	76,7	124,6	37,0	63,0	68,1	96,6	77,7	97,2	94,1	129,4	40,3	57,8	49,6	86,3	63,7	108,1	101,8	142,8	93,6	121,2	181,8	95,3	212,1	95,4	215,1	114,6	153,4	79,5	808,8	102,0
Bayern	30,2	45,5	73,1	126,3	97,1	155,5	47,5	67,8	105,9	117,2	128,7	115,1	130,1	128,5	59,7	58,9	48,9	67,7	78,0	127,0	76,7	109,8	91,4	121,1	250,5	112,4	318,5	101,3	203,7	100,1	166,4	83,3	967,4	102,9
Mecklenburg-Vorpommern	18,3	40,4	42,6	135,5	52,6	128,2	4,8	11,5	56,7	110,4	59,7	95,3	85,0	129,6	31,6	53,9	31,7	62,3	78,9	187,7	83,5	160,3	39,7	76,3	114,1	85,0	176,3	94,3	194,0	133,9	106,7	82,0	585,0	98,4
Brandenburg	22,4	55,5	43,3	132,9	46,2	127,1	5,3	12,9	73,8	137,4	69,6	108,0	77,2	143,6	33,2	56,6	30,8	69,0	83,4	226,7	71,1	158,1	57,4	115,2	125,3	95,6	179,9	101,8	185,4	146,6	105,1	85,4	613,7	110,2
Sachsen-Anhalt	25,4	65,8	45,1	135,7	49,8	125,4	21,1	48,7	68,2	131,4	53,6	85,4	76,6	111,2	28,0	47,5	35,0	84,3	82,6	232,0	74,1	174,2	75,4	161,6	139,1	103,1	158,2	90,9	191,8	160,2	107,6	90,2	635,1	116,0
Sachsen	30,3	62,0	73,3	172,0	74,5	159,7	26,4	46,1	87,9	131,6	83,3	109,1	90,2	131,0	58,9	76,4	40,4	73,3	90,1	191,0	63,5	121,6	77,8	129,2	188,9	110,6	232,4	104,5	194,0	125,6	159,4	104,9	796,6	113,9
Thüringen	29,8	58,5	64,2	145,0	68,9	132,7	53,3	91,4	74,9	113,7	73,0	93,1	92,6	148,1	37,6	54,2	68,5	134,5	69,5	145,6	94,6	168,2	97,5	153,6	197,1	111,9	203,2	96,6	232,6	150,2	149,9	94,0	824,4	117,8
Deutschland	33,2	54,6	62,1	125,8	77,7	137,4	30,3	52,0	76,0	107,0	85,1	100,6	107,6	138,7	42,5	55,0	41,6	66,1	79,4	142,3	93,0	140,1	84,2	120,0	184,0	99,0	235,2	98,2	214,0	116,7	143,7	79,5	812,7	103,0

Tab. 2: Gebietsmittel der Niederschlagshöhe

Land	Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Dezember		Frühling		Sommer		Herbst		Winter		Jahr	
	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90	2009 von (Std.) 1961-90	Proz. 2009 von 1961-90
Hamburg	62,2	160,5	37,5	58,6	90,2	89,5	280,9	179,6	268,9	126,1	208,6	103,2	222,0	110,2	243,7	121,3	172,7	124,4	96,5	100,0	18,9	38,4	35,2	112,3	640,0	136,0	674,3	109,1	288,1	101,3	135,6	101,4	1737,3	115,3
Bremen	52,7	134,4	36,4	53,9	102,6	101,1	268,9	173,7	251,9	122,7	213,2	109,9	224,3	116,8	236,6	122,5	164,8	121,6	97,1	99,6	27,4	54,1	39,8	119,0	623,4	135,0	674,1	114,5	289,3	102,0	140,5	100,5	1715,7	116,4
Berlin	62,7	147,5	30,5	43,3	82,9	68,8	304,8	189,2	245,4	108,8	188,5	88,2	224,5	100,5	281,6	131,4	209,7	134,4	73,5	67,3	57,8	115,3	31,1	89,0	633,1	124,8	694,6	104,6	341,0	108,1	88,3	1792,9	109,7	
Schleswig-Holstein	56,7	144,1	43,6	67,3	89,6	85,7	281,6	171,3	281,2	126,2	234,7	111,6	228,3	108,9	235,0	111,7	171,3	119,6	106,7	108,9	20,0	39,6	32,8	94,9	652,4	132,7	698,0	108,2	297,9	102,2	132,7	96,0	1781,3	113,7
Niedersachsen	61,2	159,9	36,8	55,8	97,6	95,5	256,1	169,2	246,9	122,5	202,5	106,2	219,0	114,4	238,4	124,4	159,0	117,9	89,2	90,5	31,8	65,2	40,2	127,7	600,6	132,0	659,9	113,2	279,9	99,2	147,0	108,6	1678,5	115,3
Nordrhein-Westfalen	90,8	218,1	35,1	48,4	97,7	94,7	213,3	144,3	212,4	111,9	183,3	101,9	208,3	111,2	240,5	131,7	148,3	109,8	86,3	80,8	39,6	75,3	40,3	109,0	523,4	118,7	632,1	114,2	274,2	93,1	185,0	122,6	1595,9	110,8
Rheinland-Pfalz	87,9	217,3	47,4	64,8	100,8	91,3	207,9	137,5	201,5	105,3	208,2	110,0	204,8	97,7	253,6	131,1	155,8	103,3	91,0	86,9	40,9	77,6	36,2	95,0	510,1	112,6	686,6	112,1	287,7	93,4	187,2	123,4	1636,0	108,5
Saarland	93,8	237,6	46,1	60,8	102,8	90,4	209,2	135,0	201,9	101,6	240,5	119,9	205,3	90,9	263,4	130,6	170,3	107,8	106,1	99,9	31,4	58,8	34,3	86,4	514,0	109,9	709,2	112,4	307,7	96,9	200,1	129,2	1705,1	108,5
Baden-Württemberg	96,2	197,3	62,2	81,6	88,4	75,6	201,5	133,7	211,1	111,6	214,8	108,9	206,5	90,3	261,1	126,8	179,6	108,1	97,5	83,5	63,8	103,7	46,0	103,4	501,1	109,7	682,4	107,2	340,9	99,0	209,5	123,7	1728,7	107,6
Hessen	86,8	242,5	46,8	67,7	88,6	83,0	223,2	147,2	201,8	104,2	176,3	94,3	196,9	96,5	243,8	128,4	149,0	104,7	79,0	79,4	34,1	78,9	30,8	97,0	513,6	113,6	617,1	105,4	262,1	92,0	181,7	133,2	1557,0	106,7
Bayern	88,1	177,5	56,7	72,9	74,3	62,4	241,7	157,4	209,3	108,1	185,9	96,3	201,1	90,9	254,7	126,0	180,2	112,3	85,8	72,8	67,9	119,4	38,9	88,9	525,3	112,7	641,7	103,0	333,9	99,6	206,0	120,5	1684,5	105,6
Mecklenburg-Vorpommern	60,2	147,2	33,5	49,7	93,9	82,7	313,0	187,2	262,9	111,6	215,3	98,6	232,2	104,3	262,2	120,8	191,7	124,2	85,1	81,2	34,8	66,5	32,3	88,4	669,8	129,7	709,7	105,0	311,6	100,0	122,7	85,2	1817,1	110,2
Brandenburg	60,9	139,3	31,5	44,9	85,8	71,5	301,5	185,4	246,3	109,8	184,0	87,0	226,4	101,4	276,9	130,0	199,2	128,0	73,8	67,4	59,5	118,0	34,6	95,4	633,5	125,0	687,4	103,9	332,6	105,4	126,8	84,7	1780,4	108,9
Sachsen-Anhalt	65,4	154,0	37,3	55,1	87,2	79,8	266,7	175,4	242,4	117,6	181,9	92,7	218,9	105,8	259,3	130,8	177,6	123,5	78,8	75,6	52,8	104,5	37,7	106,0	596,3	127,5	660,1	108,2	309,2	103,5	139,2	95,8	1706,0	112,1
Sachsen	73,4	148,2	40,9	58,3	68,5	62,4	266,7	178,4	219,7	109,3	145,2	76,3	201,2	95,9	263,1	132,4	177,8	120,3	69,0	58,5	72,3	134,8	42,8	104,5	554,9	120,6	609,5	100,1	319,1	99,9	157,7	98,1	1640,7	105,9
Thüringen	76,5	179,3	48,3	70,1	78,8	74,7	233,6	158,5	208,0	106,5	158,9	86,9	192,0	93,6	244,8	127,3	154,2	107,7	69,4	64,8	47,6	97,9	33,2	91,8	520,4	116,1	595,7	100,7	271,1	90,7	162,5	109,9	1545,2	104,0
Deutschland	77,4	177,6	44,8	61,7	87,2	78,8	247,5	162,5	226,1	115,6	192,3	100,3	210,7	100,9	252,9	128,5	171,6	114,8	85,4	78,7	49,6	92,7	38,1	98,9	560,9	122,3	655,9	108,6	306,6	98,4	170,1	110,1	1683,5	110,2

Tab. 3: Gebietsmittel der Sonnenscheindauer

Land	Eistage (Maximum unter 0 °C)		Frosttage (Minimum unter 0 °C)		Sommertage (Maximum mind. 25 °C)		Heiße Tage (Maximum mind. 30 °C)		Tage mit mind. 10 mm Niederschlag		Tage mit Hagel (Mai- September)	
	2009 (Tage)	Proz. von 1961-90	2009 (Tage)	Proz. von 1961- 90	2009 (Tage)	Proz. von 1961- 90	2009 (Tage)	Proz. von 1961- 90	2009 (Tage)	Proz. von 1961- 90	2009 (Tage)	Proz. von 1961- 90
Hamburg	13,5	66,1	65,8	93,4	26,5	124,7	2,4	76,6	17,0	93,0	1,0	169,0
Bremen	13,1	72,3	61,3	88,8	26,7	130,5	2,8	98,6	15,1	90,8	0,8	118,6
Schleswig-Holstein	25,1	103,4	77,1	95,2	47,4	132,0	7,2	103,0	13,8	117,0	0,5	46,1
Berlin	12,7	60,0	63,6	83,6	18,0	119,6	1,5	97,7	16,6	80,5	0,7	141,9
Niedersachsen	16,6	80,9	69,2	92,0	32,7	146,3	4,2	130,0	15,9	88,4	0,6	88,4
Nordrhein-Westfalen	16,0	93,4	68,2	96,8	34,0	136,0	4,1	100,9	24,1	101,1	0,6	75,6
Rheinland-Pfalz	20,2	93,3	75,0	88,9	37,2	128,6	5,8	117,0	23,4	105,1	0,7	95,8
Saarland	18,9	99,1	70,3	87,6	37,0	124,0	4,5	93,0	28,5	99,2	0,4	59,1
Baden-Württemberg	27,7	103,2	95,4	94,0	40,9	131,5	6,9	145,5	29,3	97,4	1,8	167,5
Hessen	26,0	101,5	82,2	91,6	34,4	124,0	5,3	119,3	22,4	105,0	0,8	99,1
Bayern	34,1	98,8	104,1	91,5	38,2	129,7	4,0	101,7	26,9	95,4	1,2	109,8
Mecklenburg-Vorpommern	18,7	71,1	79,9	97,2	31,2	158,2	3,0	115,5	11,6	91,0	0,7	98,3
Brandenburg	25,4	97,7	85,9	98,8	45,6	131,7	6,2	96,4	12,7	108,7	0,7	87,5
Sachsen-Anhalt	21,9	88,3	82,8	98,1	44,2	138,7	6,3	109,2	14,5	121,9	0,6	97,3
Sachsen	32,0	100,9	93,1	98,5	36,5	116,8	3,6	64,9	19,8	114,7	0,6	71,9
Thüringen	31,6	93,1	94,2	92,3	33,5	131,0	3,0	77,4	21,1	117,4	0,4	54,7
Deutschland	24,4	92,9	84,8	93,5	36,4	133,0	4,6	108,4	20,9	99,0	0,9	103,8

Tab. 4: Gebietsmittel der Anzahl der Tage mit klimatischen Besonderheiten

Die Verteilung der Wetterlagen

Im Folgenden wird die Häufigkeit der 2009 aufgetretenen Wetterlagen beschrieben:

Die objektive Wetterlagenklassifikation des DWD beruht auf numerischen Kriterien, die auf jede meteorologische Situation über Mitteleuropa angewendet werden können. Die Klassifizierung wird einmal täglich um 12 UTC durchgeführt und das Ergebnis als die Wetterlage betrachtet, die für den ganzen Tag gültig ist. Die Datengrundlage liefert das operationelle Wetteranalyse- und Vorhersagesystem des DWD. Kriterien für die Einteilung der Wetterlagenklassen sind die Zirkulationsformen der Atmosphäre (Zyklonalität) in 950 und 500 hPa, die großräumige Anströmrichtung in 700 hPa und der Feuchtegehalt der Troposphäre. Dadurch ergeben sich 40 verschiedene Wetterlagenklassen.

Die Klasseneinteilung erfolgt nach folgendem Schema:

Jede Wetterlagenklasse wird mit einer fünfstelligen Buchstabenkennung abgekürzt, und zwar in folgender Anordnung:

aa Z₉₅₀ Z₅₀₀ f mit:

aa	=:	Anströmrichtung:	XX = keine vorherrschende Richtung, NO = Nordost, SO = Südost, SW = Südwest, NW = Nordwest;
Z₉₅₀ Z₅₀₀	=:	Zyklonalität in 950 bzw. 500 hPa:	Z = zyklonal, A = antizyklonal;
f	=:	Feuchte	F = feucht, T = trocken.

Beispiel:
NOAZT = Nordost, antizyklonal in 950 hPa, zyklonal in 500 hPa, trocken.

Häufigkeit der Wetterlagenklassen 2009

Folgende Wetterlagen sind im Jahr 2009 aufgetreten (in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit):

Rang	Wetterlage	Anzahl	in %	Rang	Wetterlage	Anzahl	in %
1	SWAAF	37	10.14	19	SWZZT	6	1.64
2	NWAZT	33	9.04	20	SOZAT	5	1.37
3	NWAAT	31	8.49	21	SWZAT	5	1.37
4	SWZAF	30	8.22	22	XXZZF	5	1.37
5	XXAAT	25	6.85	23	XXZAT	4	1.10
6	NWAAF	21	5.75	24	XXAZF	3	0.82
7	SWAAT	20	5.48	25	NWAZF	3	0.82
8	SWZZF	18	4.93	26	SOZZF	3	0.82
9	SWAZT	16	4.38	27	SOAAT	2	0.55
10	XXAZT	14	3.84	28	NOAAF	2	0.55
11	NOAZT	14	3.84	29	SOAZT	2	0.55
12	SWAZF	11	3.01	30	NWZAT	2	0.55
13	NOAAT	10	2.74	31	NWZAF	2	0.55
14	XXAAF	8	2.19	32	NOZZT	2	0.55
15	NWZZT	8	2.19	33	NWZZF	2	0.27
16	XXZAF	6	1.64	34	SOAAF	1	0.27
17	SOZAF	6	1.64	35	NOZAF	1	0.27
18	XXZZT	6	1.64	36	NOZZF	1	0.27

Die Wetterlagenklassen NOAZF, SOAZF, NOZAT und SOZZT sind im Jahr 2009 nicht vorgekommen.

Besonders häufig trat in diesem Jahr wieder die hochreichend antizyklonale, feuchte Südwestlage SWAAF auf. Auch die Nordostlage NOAZT sowie die Lagen ohne eindeutig vorherrschende Strömungsrichtung XXAAT und XXAZT waren häufiger vertreten als im langjährigen Mittel. Demgegenüber wurde die hochreichend antizyklonale, trockene Nordwestlage NWAAT wie im Vorjahr deutlich weniger häufig beobachtet als im Mittel. Die 7 Lagen, SWAAF, NWAAT, NWAAT, SWZAF, XXAAT, NWAAT und SWAAT stellten zusammen 54 % aller Lagen dar.

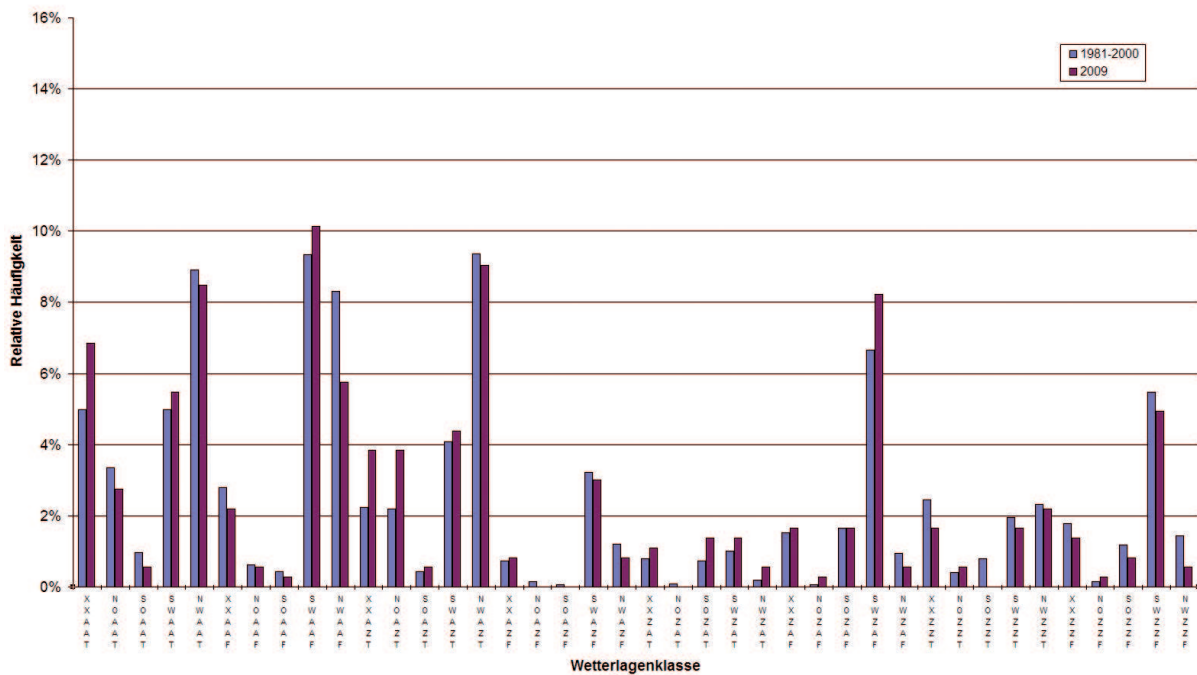


Abb. 9: Relative Häufigkeitsverteilung der objektiven Wetterlagenklassen 2009 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.

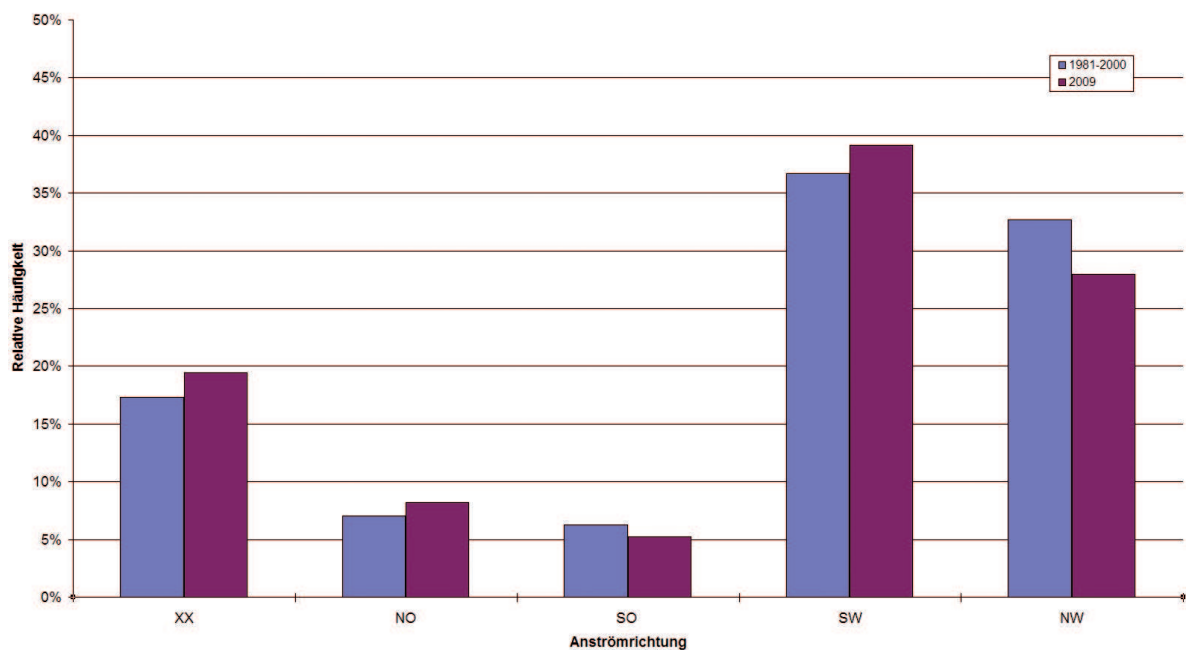


Abb. 10: Relative Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Anströmrichtungen nach der objektiven Wetterlagenklassifikation 2009 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.

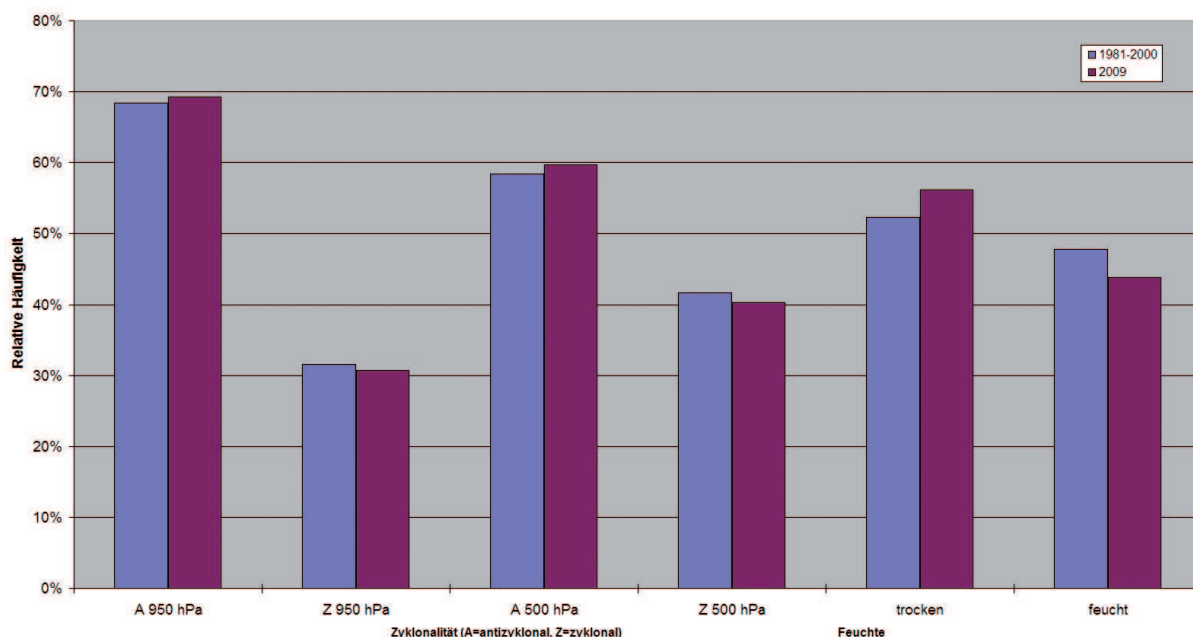


Abb. 11: Relative Häufigkeitsverteilung der Zyklonalitäts- und Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 2009 im Vergleich zum 20jährigen Zeitraum 1981-2000.

Häufigkeit von Wetterlagengruppen 2009

Bei den Häufigkeiten der Wetterlagengruppen (Abb. 10 und 11) ist festzustellen, dass die Nordwestlagen zugunsten der Südwestlagen schwächer vertreten waren, während Lagen ohne eindeutig vorherrschende Windrichtung etwas häufiger auftraten als im Referenzzeitraum 1981-2000. Die Häufigkeit der Lagen mit Ostkomponente entsprach weitgehend dem langjährigen Mittel.

Auch die Häufigkeit zyklonaler und antizyklonaler Lagen in Bodennähe und in der freien Atmosphäre wich kaum von Referenzwert ab. Die feuchten Lagen traten wieder etwas seltener auf als im Bezugszeitraum.

WLK/Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
XX	11	1	4	8	4	4	4	6	13	5	4	7	71
NO	3	4	3	1	3	6	0	1	2	2	0	5	30
SO	1	1	1	11	0	1	0	0	2	1	1	0	19
SW	11	7	6	10	15	9	20	13	4	9	24	15	143
NW	5	15	17	0	9	10	7	11	9	14	1	4	102
A 950 hPa	25	17	21	14	22	20	27	23	22	25	20	17	253
Z 950 hPa	6	11	10	16	9	10	4	8	8	6	10	14	112
A 500 hPa	22	14	18	24	23	13	19	24	22	18	13	8	218
Z 500 hPa	9	14	13	6	8	17	12	7	8	13	17	23	147
trocken	24	15	22	16	17	17	15	15	15	20	11	18	205
feucht	7	13	9	14	14	13	16	16	15	11	19	13	160
Temperatur	-1.7	0.1	0.8	4.5	1.5	-0.6	1.1	2.1	1.4	-0.9	3.3	-0.5	0.9
Niederschlag	52	116	132	52	106	96	133	53	67	138	138	116	100

Tab. 7: Monatliche Häufigkeiten (in Tagen) für die Anströmrichtungen (XX, NO, SO, SW, NW), die Zyklonalität (A=antizyklonal, Z=zyklonal) in 950 und 500 hPa und die Feuchteklassen (feucht und trocken) im Jahr 2009. Zum Vergleich die Deutschlandflächenmittel-Anomalien der Monatsmitteltemperatur (positive Zahlen: warm, negative: kalt) und die monatlichen Niederschlagssumme (in %) als Prozentsatz des Klimamittels 1961-1990.

Jahresverlauf der Wetterlagen und Zusammenhang mit Temperatur/Niederschlag

- Anströmrichtung

Südwestlagen traten im Mai und Juli sowie im November und Dezember besonders häufig auf, während sie im Februar und März sowie im September selten waren. Nordwestlagen waren im Februar und März sowie im Oktober relativ häufig, während sie in den extrem milden Monaten April und November gar nicht bzw. nur an einem Tag auftraten. Die Häufigkeit der Lagen mit Ostkomponente war im April ungewöhnlich hoch, während sie im Juli und August sowie im Oktober gar nicht oder kaum auftraten. Lagen mit uneinheitlicher Anströmrichtung waren im Januar und September ungewöhnlich häufig.

- Zyklonalität

In 950 hPa waren antizyklonale Lagen in allen Monaten mit Ausnahme des Aprils häufiger als die zyklonalen Lagen. Besonders deutlich dominierten sie im Januar sowie von Juli bis Oktober. In 500 hPa waren die antizyklonalen Lagen im Januar, von März bis April und von Juli bis Oktober vorherrschend. Zyklonale Lagen dominierten im Juni sowie im November und Dezember.

- Feuchte

Von Januar bis Juni, sowie im Oktober und Dezember herrschten trockene Lagen vor, während im Juli und August sowie im November überwiegend feuchte Lagen auftraten. Dies spiegelt wieder hauptsächlich die Temperaturverhältnisse wider, da kalte Luft einen niedrigeren Sättigungsdampfdruck besitzt als eine warme Luftmasse. So hatten die 3 Monate mit überwiegend trockenen Luftmassen alle kräftige positive Temperaturabweichungen, während auch in den niederschlagsreichen Monaten oft relativ trockene Luftmassen vorherrschten.

- Temperatur

Das Jahr 2009 war in Deutschland im Mittel 0,9 Grad wärmer als in der internationalen klimatologischen Referenzperiode 1961-90. Nur im Januar lag die Mitteltemperatur deutlich unter den Bezugswerten. So wurde das Jahr insgesamt das 13.wärmste seit 1901.

- Niederschlag

Im Jahr 2009 waren 7 Monate niederschlagsreicher und 5 Monate trockener als in der Referenzperiode. Die Niederschlagsdefizite waren jedoch deutlich größer als die Überschüsse. So wurde das Jahr insgesamt geringfügig trockener als in der Referenzperiode.

Ein klarer Zusammenhang zwischen diesen Witterungsanomalien und den vorherrschenden Wetterlagen lässt sich nur in Einzelfällen feststellen, da Zyklonalität, Anströmrichtung und Feuchte oft gegensätzliche Tendenzen hervorbringen.

Langzeittrends 1980-2009

Bei der Anströmrichtung (Abb. 12) wurden die Trends zu einer Abnahme der Nordwestlagen und zu einer langfristigen Zunahme der Nordostlagen gestärkt.

Bei den Feuchteklassen (Abb. 13) ist die langfristige Zunahme der feuchten Lagen weiterhin vorhanden, wurde aber erneut nicht bestätigt.

Bei der Zyklonalität (Abb. 14 und 15) ist weiterhin nur in 500 hPa ein schwacher Trend zu einer Zunahme antizyklonaler Lagen erkennbar, während in 950 hPa keine langfristigen Tendenzen feststellbar sind.

Weitere Details zur objektiven Wetterlagenklassifikation können dem Internet entnommen werden:

<http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/monitoring/wlk/wlk.htm>

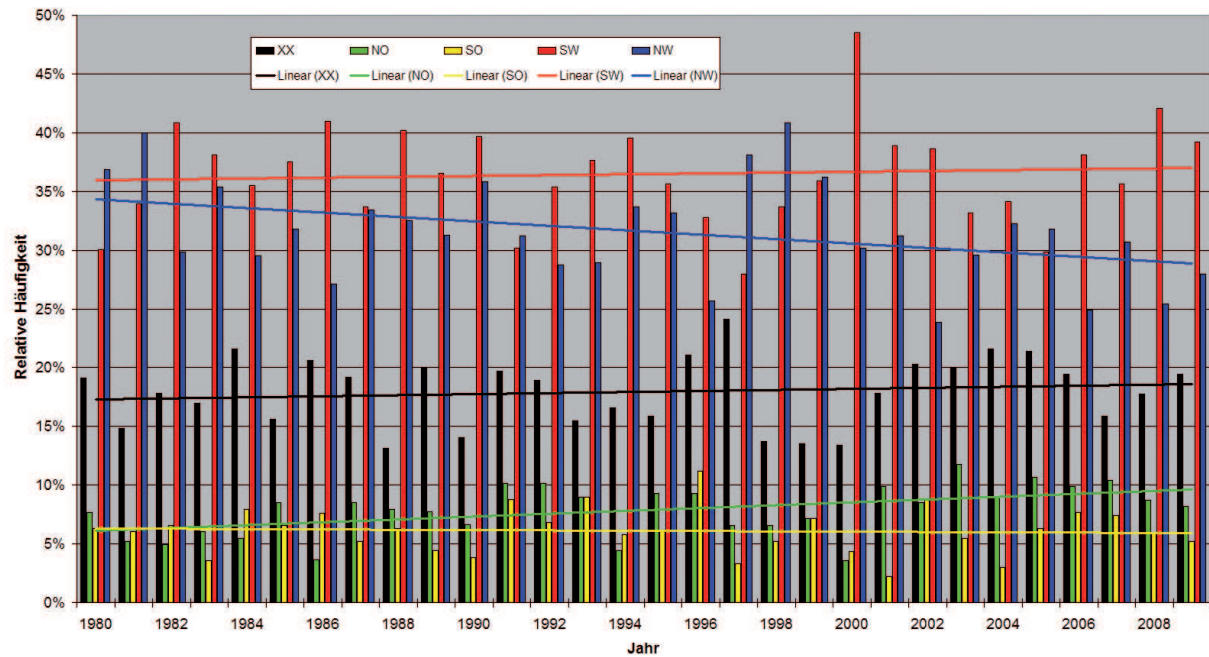


Abb. 12: Langzeittrends der Häufigkeit der Anströmrichtungen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2009.

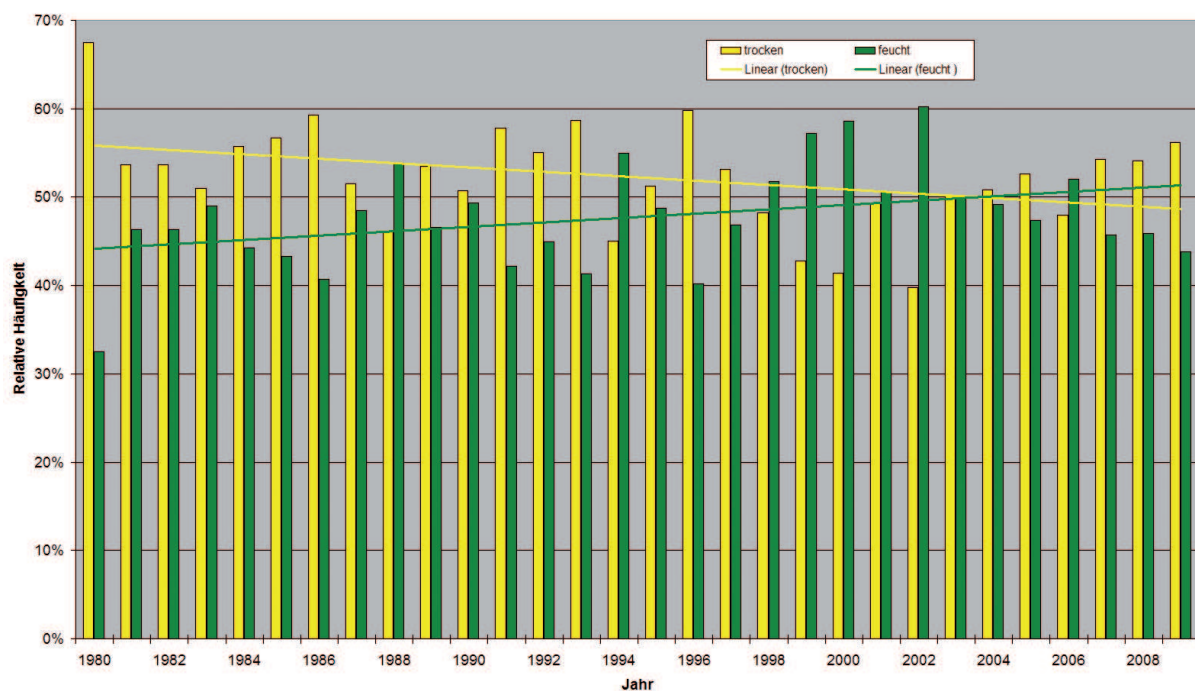


Abb. 13: Langzeittrends der Häufigkeit der Feuchteklassen der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2009.

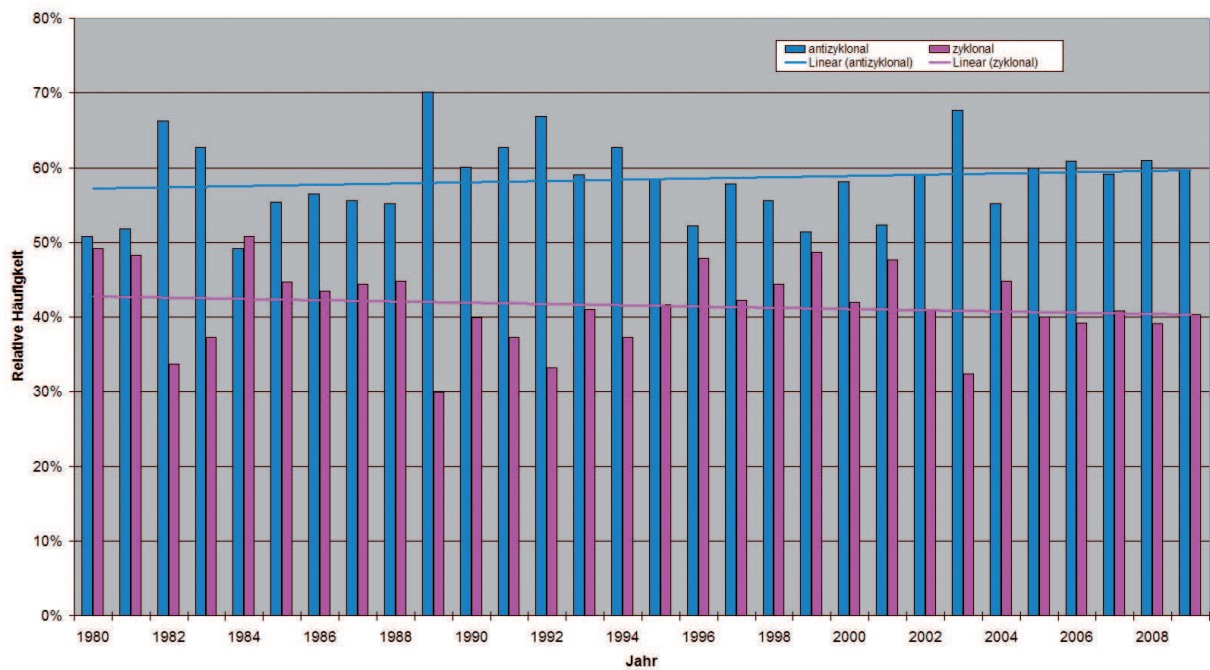


Abb. 14: Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 500 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2009.

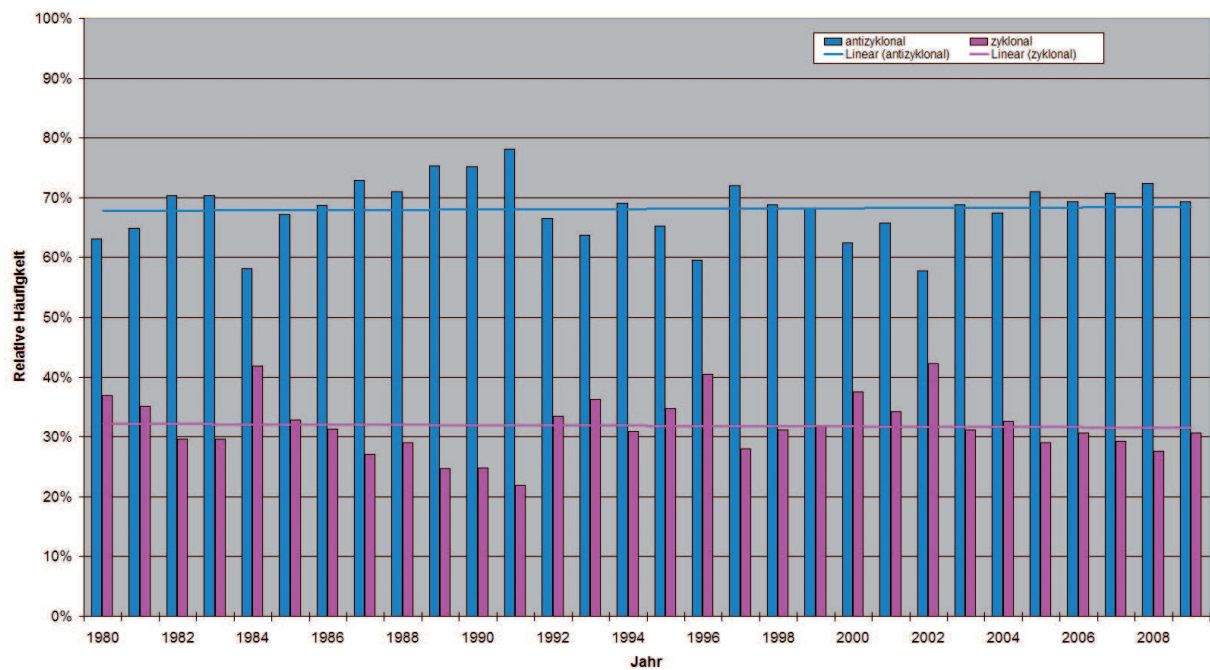


Abb. 15: Langzeittrends der Häufigkeit der Zyklonalität in 950 hPa der objektiven Wetterlagenklassifikation 1980-2009.

Das Klima in den deutschen Küstengebieten 2009

C. Lefebvre

Die Lufttemperatur

Das Jahr 2009 fiel in den deutschen Küstengebieten mit Jahresmittelmitteltemperaturen von rund 9 bis 10 °C nicht ganz so warm aus wie die Vorjahre, aber es war im Vergleich zum Bezugszeitraum 1961-1990 um rund 1 K zu warm.

Anders als in den letzten Jahren startete das Jahr 2009 nicht mild, sondern winterlich mit Kälte und einer zeitweiligen Schneedecke. Die Monatsmittelmitteltemperaturen des Januars bewegten sich mit Werten zwischen -1,1 °C am Kleinen Haff (Odermündung) und 2,8 °C auf Helgoland um die Mittelwerte des Zeitraums 1961-1990. Verbreitet wurde eine leicht überdurchschnittliche Zahl von 14 bis 20 Frosttagen verzeichnet.

Auch der Februar hatte noch einen winterlichen Charakter, obwohl er mit Monatsmittelmitteltemperaturen zwischen 0 und 3 °C insgesamt um bis zu 1 K zu mild ausfiel. Die Anzahl der Tage mit Luftfrost nahm nach Osten hin deutlich zu. Sie bewegte sich zwischen 3 Tagen auf Helgoland und 20-21 Tagen östlich von Rügen, womit an der Nordsee und westlichen Ostsee Luftfrost um 5-8 Tage seltener auftrat als im Mittel, östlich von Rügen dagegen an bis zu 2 Tagen mehr.

Nach einem März, der um 1-2 K zu mild ausfiel und weniger Frosttage hatte als gewöhnlich, vollzog sich im April eine ungewöhnlich rasche Erwärmung. Dieser Monat war der wärmste und sonnenscheinreichste April seit Beginn regelmäßiger Messungen vor rund 120 Jahren. Nur auf den Inseln und in Küstenbereichen Nordfrieslands blieb er teilweise etwas kühler als der bis dahin wärmste April im Jahr 2007. Die Monatsmittelmitteltemperaturen lagen mit Werten zwischen 7,7 °C am Kap Arkona und 12,4 °C an der Wesermündung um 3-5 K über den Vergleichswerten. Östlich von Rügen gab es mit Höchsttemperaturen von 25-26 °C sogar schon 2 Sommertage.

Der Mai war dann um bis zu 2 K zu warm, wobei ein Kaltlufteinbruch zu den Eisheiligen vom 11. bis 14. Mai regional nur zu geringem Frost in Bodennähe führte.

Der Juni fiel demgegenüber meist um bis zu 1 K zu kühl aus. Die Schafskälte, die gewöhnlich zur Monatsmitte erwartet wird, trat schon am 2./3. Juni ein. Der durch einen Kaltlufteinbruch ausgelöste Temperatursturz machte sich im Ostseebereich stärker bemerkbar als an der Nordsee. Die nächtlichen Tiefsttemperaturen waren teilweise die niedrigsten, die seit Messbeginn jemals in einem Juni registriert wurden. Vereinzelt gab es am 6./7. sogar Frost in Bodennähe.

Die Sommermonate Juli und August, aber auch der September mit seinem Altweibersommer brachten sonnenscheinreiche und überdurchschnittlich warme Witterung, die sich auch in einer überdurchschnittlichen Anzahl an Sommertagen niederschlug. Der 20. August war mit bis zu 33 °C an der Ostsee und 34 bis 35 °C an der niedersächsischen Nordseeküste der heißeste Tag des Jahres.

Im Oktober ging dann das Temperaturniveau deutlich zurück. Dieser Monat fiel sogar um rund 1 K zu kühl aus und brachte vereinzelt den ersten Luftfrost um -1 °C, was aber nicht ungewöhnlich ist.

Kaum kälter als sein Vormonat und damit sehr mild, aber äußerst sonnenscheinarm, war der November. Die Monatsmittelmitteltemperaturen bewegten sich mit 7 bis 10 °C um

2-3 K über den vieljährigen Bezugswerten. Damit war der November 2009 meist nur geringfügig kühler als der bisher wärmste November im Jahr 2006. Die sonst im November üblichen Frosttage blieben im Monatsverlauf verbreitet aus.

Im Dezember kam dann die Kälte. Die Monatsmitteltemperaturen sanken auf Werte zwischen 3,8 °C auf Helgoland und 0 °C östlich von Rügen und lagen damit um rund 1 K unter dem Durchschnitt. Der 19. und 20. Dezember waren die kältesten Tage des Jahres. An der niedersächsischen Nordseeküste erreichten die Tageshöchstwerte nur -6 bis -7 °C, an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns sogar nur -10 bis -12 °C. In der Nacht trat auch der strengste Luftfrost auf. Während an der Nordsee nur Tiefstwerte von -3 bis -9 °C verzeichnet wurden, gingen die Lufttemperaturen an der Ostsee auf -10 bis -20 °C zurück. Im Monatsverlauf trat Luftfrost - mit Ausnahme der Inseln Helgoland und Fehmarn - an 10 bis 17 Tagen auf, was dem vieljährigen Mittel entspricht. Auch die Zahl der Tage mit Dauerfrost, die sich meist bei 4 bis 6 Tagen bewegte, lag an der Ostsee im Bereich der Mittelwerte, an den Nordseeküsten sogar meist um 3 bis 4 Tage darüber.

Obwohl die Wintermonate kalt und frostreich waren, blieb die Gesamtzahl der Frost- und Eistage des Jahres 2009 unter den Mittelwerten von 1961-1990. Das ist vor allem auf die ungewöhnlich milden Monate April und November zurückzuführen, in denen Fröste weitgehend ausblieben. Lediglich östlich von Rügen lag die Anzahl der Frosttage mit 80-87 Tagen im Bereich der Mittelwerte. Im übrigen Ostseebereich traten zwischen 47 bis 60 Frosttage auf, womit die Vergleichswerte um 10-15 Tage unterschritten wurden. An der Nordsee gab es Luftfrost entlang der Küsten an 45-50 Tagen, auf den Friesischen Inseln an rund 35 Tagen und auf Helgoland an 24 Tagen. Damit wurden die Mittelwerte hier um rund 10 Tage verfehlt. Dauerfrost herrschte an der Nordsee nur im Januar und Dezember, an der Ostsee auch im Februar. Die Zahl der Eistage bewegte sich meist zwischen 6 und 13, östlich von Rügen zwischen 16 und 19 Tagen. Auf Helgoland gab es nur 2 Eistage. Damit wurden die Mittelwerte an der Nordsee um 5-9 Tage, an der Ostsee um rund 10 Tage verfehlt. Verglichen mit den Vorjahren verzeichneten 2007 und 2008 weniger, das Jahr 2006 mehr dieser kalten Ereignistage.

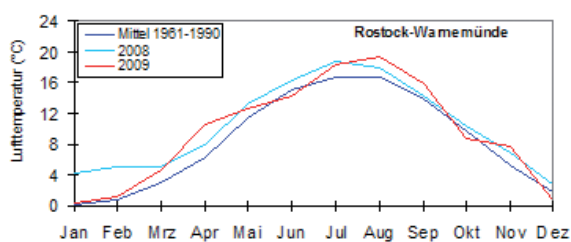


Abb. 1: Jahresgang der Monatsmitteltemperatur

Nachdem östlich von Rügen schon Ende April Höchsttemperaturen von mindestens 25 °C erreicht wurden, brachten die Monate Mai bis September weitere Sommertage. Insgesamt wurden auf Helgoland 2, am Kap Arkona 3, an der Nordsee 5 bis 17, an der Ostsee 11 bis 24, am Kleinen Haff 34 Sommertage gezählt. Das waren an der Nordsee um bis zu 4,

an der Ostsee meist 4 - 7 Tage mehr als im Mittel. Höchsttemperaturen von mindestens 30 °C wurden nur an maximal 2 Tagen verzeichnet, womit die Zahl der heißen Tage die Durchschnittswerte traf. Verglichen mit den Vorjahren hatte vor allem das Jahr 2006 deutlich mehr dieser sehr warmen Tage.

Der Niederschlag

Anders als im Vorjahr, in dem meist überdurchschnittliche Niederschläge fielen, war das Jahr 2009 vielfach leicht zu trocken. Niederschlagshöhen zwischen 460 und 570 mm an der Ostsee und 650 und 770 mm an der Nordsee bedeuteten Defizite bis 15 %. Sowohl die Zahl der Tage, an denen mindestens 1 mm Niederschlag registriert wurde, als auch die mit Starkniederschlägen von mindestens 10 mm lagen dabei im Bereich der Mittelwerte.

Den geringsten Niederschlag verzeichnete im Jahresverlauf der April, bei dem die 2. Monatsdekade sogar niederschlagsfrei blieb. An der Ostsee fielen weniger als 10 mm, an der Nordsee rund 10-20 mm, was 20-50 % der Monatsmittel bedeutet. Damit war dieser April nicht so niederschlagsarm wie der bereits erwähnte April 2007, in dem es nur wenige Millimeter Regen gab.

Weniger Niederschlag als gewöhnlich verzeichneten aber auch der Januar mit Niederschlagshöhen von etwa nur der Hälfte der Mittelwerte, der Juni, in dem der Nordseebereich teilweise der niederschlagsärmste Raum in ganz Deutschland war, der August und September, in denen regional ebenfalls nur die Hälfte des gewöhnlichen Niederschlags fiel, der Oktober im Nordseeraum und der Dezember.

Zu nass war es vor allem im Juli mit Überschüssen bis um 50 %, im Oktober an der Ostsee mit bis zum Doppelten der Monatsmittel und im November mit einem Plus bis ebenfalls um 50 %.

In den Wintermonaten fiel der Niederschlag teilweise als Schnee. Im Januar entwickelte sich eine geschlossene Schneedecke bis 4 cm Höhe vom 5. bis 9. Januar, die aber zur Monatsmitte wieder abgetaut war. Schneefall in den ersten Februartagen und in der 2. Februardekade ließ verbreitet eine geringe Schneedecke bis zu 5 cm Höhe entstehen. An einigen Küstenabschnitten der Ostsee wuchs die Schneedecke um die Monatsmitte bis auf 10 cm an, östlich von Rügen am 19. sogar bis auf 20 cm. Während an der Nordsee der Schnee sehr schnell wieder abtaute, hielt er sich an der Ostsee bis in die letzte Februarwoche hinein. Nur sehr kurz andauernde Schneedecken wurden dann in den Monaten März und November beobachtet.

Im Dezember wurden nach einer Umstellung auf frostige Witterung zur Monatsmitte gebietsweise Schneehöhen von 10 cm erreicht, was im Insel- und Küstenraum Ostfrieslands teilweise Rekordschneehöhen für diesen Monat bedeutete: z.B. auf Norderney am 18. eine Schneehöhe von 17 cm (bisher 14 cm am 31.12.1962) und in Emden am 22. eine von 25 cm (bisher 11 cm am 03.12.1973). Milde Witterung und Regen zu Weihnachten, also das bekannte ‚Weihnachtstauwetter‘, bewirkten ein rasches Abtauen der Schneedecke noch vor Jahresende.

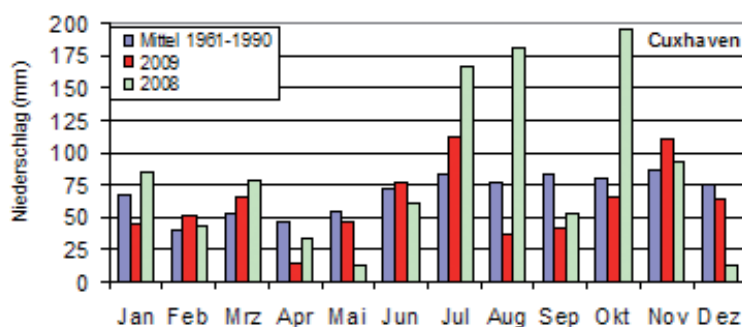


Abb. 2: Jahrgang der monatlichen Niederschlagshöhe

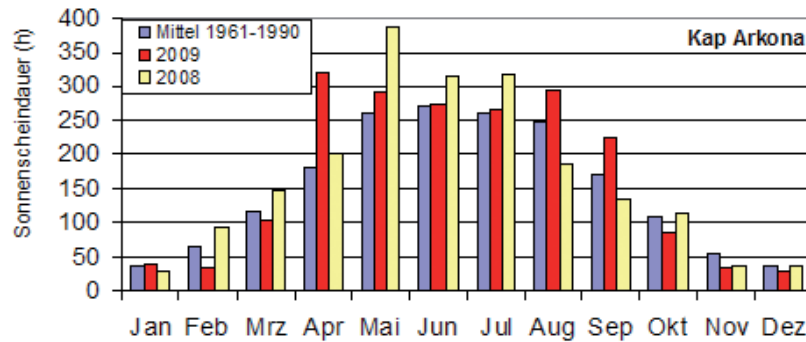


Abb. 3: Jahresgang der monatlichen Sonnenscheindauer

Die Sonnenscheindauer

Die Sonnenscheindauer bewegte sich meist zwischen 1620 Stunden an der Emsmündung und 1986 Stunden am Kap Arkona. Damit überschritt sie die vieljährigen Mittelwerte vielfach um rund 10 % und war damit ähnlich hoch wie im Vorjahr.

Außergewöhnlich sonnenscheinreich war der April. Mit Ausnahme von Helgoland war er der sonnenscheinreichste April seit dem Beginn regelmäßiger Aufzeichnungen. Bei vorherrschendem Hochdruckeinfluss wurden mit 222 (Emsmündung) bis 333 (Kleines Haff) Sonnenstunden die vieljährigen Mittelwerte um 30 bis 100 % überschritten. Auch im Mai wurden die Mittelwerte noch um 30 % überschritten. Überdurchschnittlich viel Sonnenschein verzeichneten auch der Januar, verbreitet die Sommermonate und der September.

Dagegen schien die Sonne in den ohnehin schon sonnenscheinarmen Monaten Februar und November noch deutlich seltener als gewöhnlich. Mit 20-30 Stunden im Februar an der Nordsee und 30-40 Stunden im November an der Ostsee wurde nur rund die Hälfte der mittleren Sonnenscheindauer registriert.

Die Wassertemperatur

Die küstennahen Gewässerzonen von Nord- und Ostsee kühlten sich im Januar aufgrund der frostigen Witterung auf 1 bis 3 °C am Monatsende ab. Dabei kam es vor allem in den geschützten Buchten und inneren Boddengewässern der Ostsee, vom 6. an auch an den nordfriesischen Küsten zu vorübergehender Eisbildung. Aber nur die Boddengewässer südlich vom Darß und das Kleine Haff waren überwiegend mit Festeis, das meist dünner als 15 cm war, bedeckt. Im Februar kühlten sich die Gewässer noch weiter ab und erreichten in den küstennahen Zonen eine Mitteltemperatur um 2 °C. Damit lagen die küstennahen Ostseetemperaturen und die Wassertemperatur der gesamten Nordsee mit 5,5 °C im Bereich der vieljährigen Mittelwerte. Die flacheren Nordseegebiete blieben dagegen um 1-2 K zu kühl.

Das Eis schmolz in der 2. Februarwoche fast vollständig ab und auch das Neueis, das sich nach Monatsmitte gebildet hatte, schmolz mit der Erwärmung in der letzten Februarwoche zügig ab.

Im März vollzog sich dann zunächst eine allmähliche, im April eine rasche Erwärmung der Gewässer, die die Wassertemperaturen in den flacheren Gewässerzonen auf 10-14 °C ansteigen ließ. Kühler war es in den tieferen Gewässerzonen bei

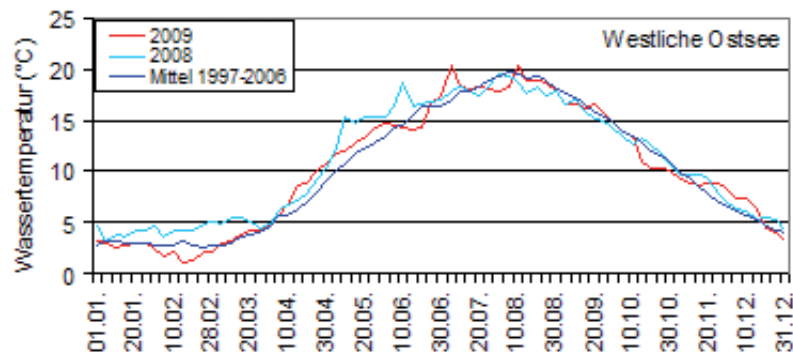


Abb. 4: Jahresgang der Wassertemperatur

Helgoland und am Kap Arkona, wo am Monatsende 8-9 °C gemessen wurden. Die Monatsmittel bewegten sich nun um rund 1-2 K über dem Durchschnitt.

Im Juni mit seinem unterdurchschnittlichen Temperaturniveau verzögerte sich dann die weitere Erwärmung deutlich, so dass die Wassertemperaturen in den flacheren Küstenbereichen von Nord- und Ostsee mit 15-16 °C im Monatsmittel leicht unter den vieljährigen Bezugswerten blieben.

Anfang Juli erwärmten sich die Gewässer bei Hochdruckeinfluss kräftig und erreichten in der westlichen Ostsee stellenweise fast 23 °C im Tagesmittel. Mit Einsetzen kühlerer Westwetterlagen kehrten die Temperaturen aber rasch wieder zu Werten zwischen 17 °C um Rügen und 20 °C an der Nordseeküste zurück. Insgesamt lagen sie um 1-2 K über dem Mittel.

Im August und September blieb die westliche Ostsee überdurchschnittlich warm, während die Nordseetemperaturen im Bereich der vieljährigen Mittelwerte lagen.

Nach einem beschleunigten Temperaturrückgang im Oktober verzögerte die milde Novemberwitterung dann die weitere jahreszeitliche Abkühlung erheblich. Die Wassertemperaturen, die zu Monatsbeginn bei 9 °C in den flacheren Nordseegewässern und 10 °C in den küstennahen Gebieten der westlichen Ostsee lagen, gingen nur um 1 K zurück, und die Monatsmittel lagen um rund 1 K über dem Durchschnitt.

Im Dezember förderte die frostige Witterung die Abkühlung der Gewässer. In den küstennahen Nordseezonen gingen die Wassertemperaturen sogar um 6 bis 7 K auf 1 bis 2 °C zurück, an der westlichen Ostsee um 4 bis 5 K auf 3 °C. Im Mittel waren die Gewässer aber noch um rund 0,5 K zu warm.

Der Wind

Das Jahr 2009 begann im deutschen Küstenraum nicht so windreich wie die beiden Vorjahre. Tiefdruckgebiete oder Tiefausläufer lösten nur Spitzenböen aus, die Bft 8 oder 9 entsprachen, in exponierten Insellagen vereinzelt auch Bft. 10. Dabei wehten im winterlich geprägten Januar Winde aus südlichen Richtungen zu rund 65 % der Zeit. Etwa doppelt so häufig wie gewöhnlich, nämlich zu rund 30 % der Zeit, kamen im Nordseeraum Starkwinde von Bft 6-7 vor.

Im weiteren Jahresverlauf war dann das Auftreten von Starkwinden deutlich geringer. Der April fiel ungewöhnlich windarm aus, wobei der Anteil von Winden aus östlichen Richtungen (siehe Abb. 5) mit 60-70 % doppelt so hoch war wie im Mittel.

In den Sommermonaten traten immer mal wieder stürmische Winde auf, verursacht

entweder durch Tiefausläufer oder durch Gewitter. Meist entsprachen die stärksten Böen aber nur Bft 8 bis 9, regional mal Bft 10 und bei Gewittern vereinzelt Bft 11 (z.B. am 21. Mai in Rostock-Warnemünde).

Im September wurden von dem ehemaligen Tropensturm DANNY, der am 3. und 4. September unter Verstärkung die Nordsee überquerte, orkanartige Böen (Bft 11) im Nordseeraum ausgelöst.

Ab Oktober war es dann insgesamt wieder windiger. An der Nordsee traten Windstärken ab Bft 6 mit einem Anteil von 30 % im Oktober, 40 % im November und von 35 % im Dezember etwa doppelt so häufig auf wie im Mittel. Maximale Spitzenböen entsprachen meist Bft 8 bis 9, ein bis zweimal pro Monat auch Bft 11. Das Sturmtief SÖREN, das am 3. Oktober nördlich von Groß Britannien nach Südkandinavien zog, führte auf der Hallig Hooge sogar zu Böen bis Orkanstärke.

Die milde Witterung im November war mit einem ungewöhnlich hohen Anteil an Winden aus südlichen Richtungen verbunden, die zu 85 bis 90 % der Zeit wehten und eine Steigerung zum vieljährigen Mittel von rund 30 % bedeuteten (vgl. Abb. 5).

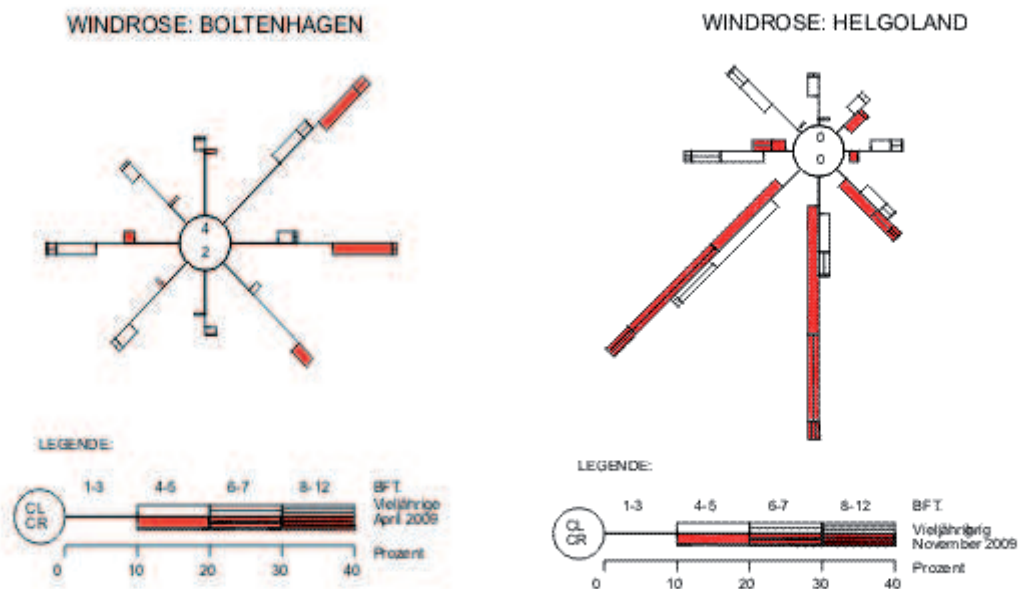


Abb. 5: Windverteilungen an der Station Boltenhagen im April und auf Helgoland im November 2009 (rot) wie auch im vieljährigen Monatsmittel (CL/CR: Prozentualer Anteil der Windstillen vieljährig und 2009)

Ergebnisse aus Messungen in der freien Atmosphäre

K. Zimmermann, H. Nitsche

Den folgenden Ausführungen liegen die Radiosondenmessungen und Windpilotierungen an den Stationen des gemeinsamen Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes und des Geoinformationsdienstes der Bundeswehr zugrunde. Es handelt sich um TEMP- bzw. PILOT-Meldungen, die über GTS empfangen wurden.

Zirkulation und Höhenwind

In den Abbildungen 1 und 2 sind für Schleswig und Stuttgart (als repräsentative Stationen für Nord- und Süddeutschland) die mittleren monatlichen Windvektoren für das Jahr 2009 dargestellt.

Generell zeigen die Strömungsmuster von Schleswig und Stuttgart keine markanten Unterschiede. In der Troposphäre waren für die Strömung über beiden Stationen im Januar und April Hochdruckwetterlagen prägend wirksam. Im Februar und März hatte die Troposphärenströmung eher meridionalen Charakter, während in den Monaten Mai bis August eine stabile westliche Strömung dominierte. Die Monate September und Oktober waren an beiden Stationen übernormal antizyklonal geprägt. Im November und Dezember wurde wiederum die für diese Monate typische Westdrift beobachtet.



Abb. 1: Mittlere monatliche Windvektoren und Windbeständigkeit, Schleswig 2009

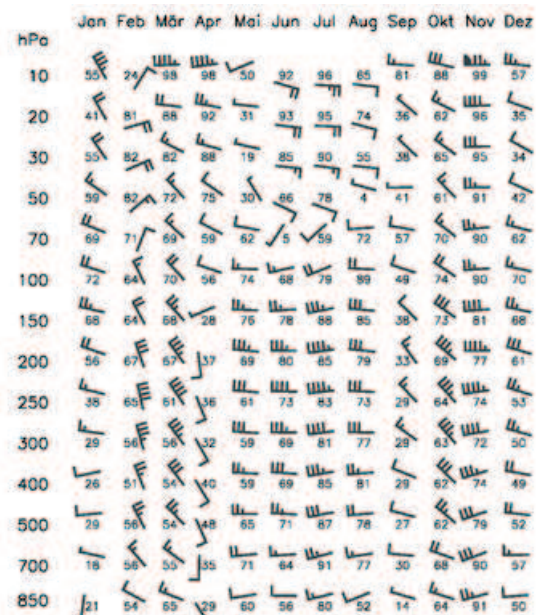


Abb. 2: Mittlere monatliche Windvektoren und Windbeständigkeit, Stuttgart 2009

In der Stratosphäre war im Januar die winterliche Westwindzirkulation noch kräftig ausgeprägt. Im Februar dagegen wurde ein besonderes Phänomen beobachtet. Ende Januar setzte eine plötzliche Stratosphärenenerwärmung ein (Sudden Stratospheric Warming SSW), die zwischen 50° Nord und 90° Nord im Februar ihren Höhepunkt erreichte (s. NCEP-National Centers for Environmental Prediction Daten für die Nordhemisphäre; http://acdb-ext.gsfc.nasa.gov/Data_services/met/ann_data.html). Damit herrschten im Februar sommerliche Verhältnisse in der Stratosphäre, was zur Ausbildung einer Ostströmung führte, die über Deutschland fast den gesamten Februar stabil blieb. Die eigentliche sommerliche Ostwindzirkulation setzte im Mai ein, erreichte aber erst im Juni hohe Beständigkeit.

Tab. 1: Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre an 11 Radiosondenstationen für das Jahr 2009 (Datenbasis: Monatsmittelwerte und Tagesmittelwerte aus 2 bis 4 Windprofilen pro Tag, manuell korrigierte Werte sind mit * gekennzeichnet.)

Station	Druckfläche (hPa)	Beginn (Tag)	Ende (Tag)	Dauer (Tage)
SCHLESWIG (WEWA)	20	136	243	108
	50	147	217	71
GREIFSWALD (WEWA)	20	135	243	109
	50	149	217	69
EMDEN (BW)	20	136	243	108
	50	148	213	66
BERGEN (BW)	20	140	243	104
	50	147	221	75
LINDENBERG (OBS)	20	144	243	100
	50	147	220	74
ESSEN-BREDENEY (AWST)	20	144	243	100
	50	147	213	67
MEININGEN (WEWA)	20	144	243	100
	50	147	213	67
IDAR-OBERSTEIN (BW)	20	145	243	99
	50	147	223	77
STUTTGART(SCHNAR.AWST)	20	144	243	100
	50	147	220	74
KÜMMERSBRUCK (BW)	20	145	243	99
	50	146	221	76
OBERSCHLEISSHEIM	20	148	243	96
	50	147	220	74

Sommerliche Ostwindperioden

In Tabelle 1 sind Anfang und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre für die Druckflächen 20 hPa und 50 hPa für 11 Radiosondenstationen zusammengefasst. Ergänzend zeigt Abbildung 3 die Folge der sommerlichen Ostwindperioden für drei Druckflächen über Stuttgart von 1985 bis 2009.

Die stratosphärische Ostwindzirkulation setzte in 20 hPa Mitte Mai über Norddeutschland (Schleswig, Greifswald, Emden) ein, wurde aber einige Tage später auch an den anderen Stationen beobachtet. Die Ostströmung blieb, wie auch im Vorjahr, bis Ende August beständig. In 30 hPa, setzte die Ostzirkulation über Stuttgart, genau wie 2008, Ende Mai ein. In 50 hPa wurde die sommerliche Zirkulation an allen Stationen Ende Mai beobachtet und blieb bis Anfang August stabil. Damit wurden im Vergleich zu 2008 deutlich längere Perioden der sommerlichen Ostwindzirkulation in 50 hPa registriert. Dennoch zählt 2009 zu den Jahren mit relativ kurzer Ostwindperiode.

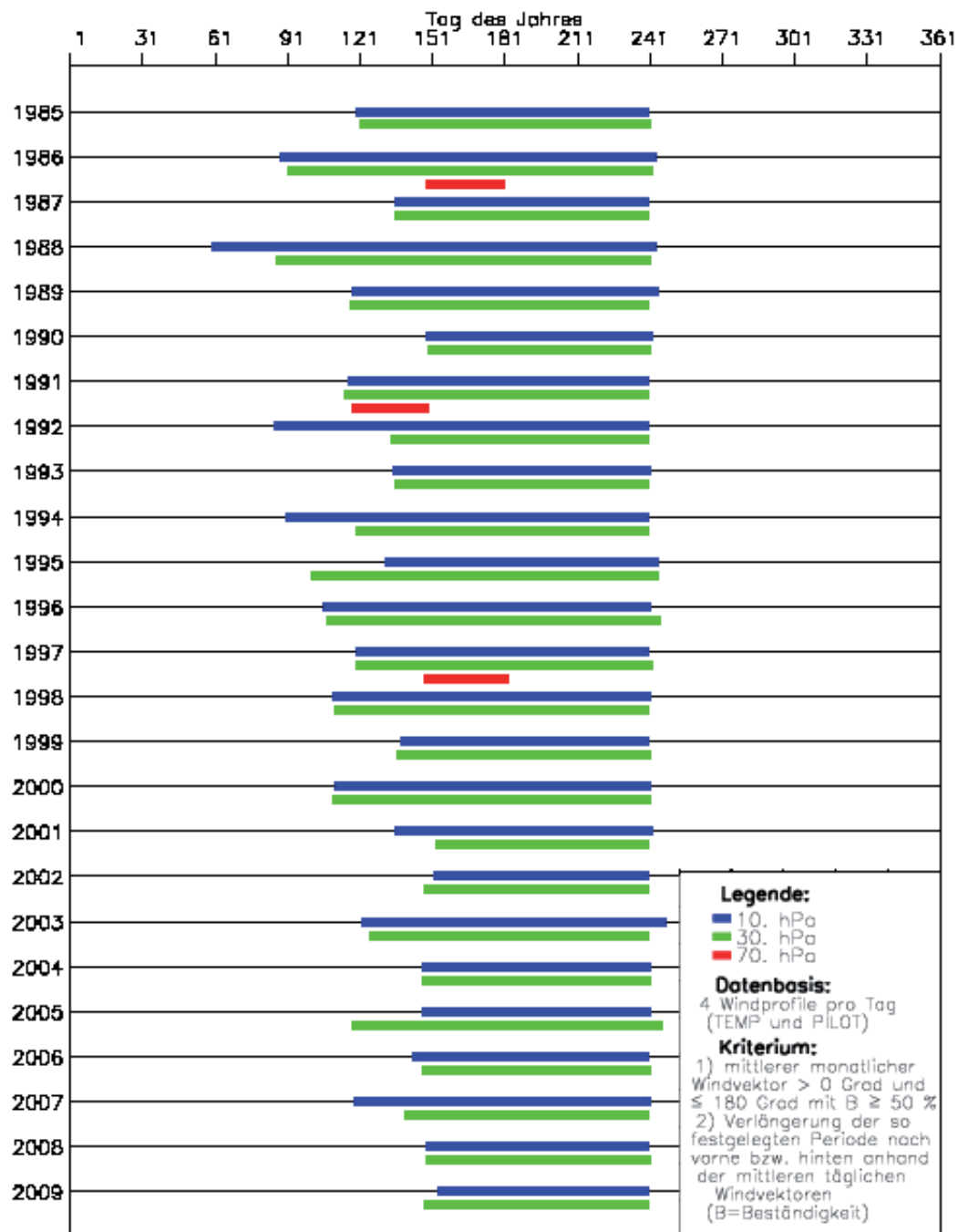


Abb. 3: Beginn und Ende der sommerlichen Ostwindzirkulation in der Stratosphäre, Stuttgart 1985-2009

Lufttemperatur

Monatsmittelwerte der Lufttemperatur

In Abbildung 4 sind die Abweichungen der mittleren Lufttemperatur bis 2009 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990 im Mittel über 7 Radiosondenstationen in 500 hPa und in 50 hPa dargestellt. Betrachtet werden die vier Jahreszeiten seit 1969. Insbesondere im Frühjahr und im Winter erkennt man zwischen 1987 und 2008 markante positive Temperaturabweichungen in der Troposphäre. Mit dem kalten Winter 2009 wird erstmals wieder eine negative Temperaturabweichung verzeichnet. Der Sommer zeichnete sich in den letzten Jahren zwar durch eine konstante aber relativ geringe positive Temperaturabweichungen aus. Die Stratosphäre war 2009 im Frühjahr, Sommer und Herbst wieder zu kühl. Im Winter spiegeln die Temperaturen in 50 hPa das bereits erwähnte Phänomen der plötzlichen Stratosphärenenerwärmung wider.

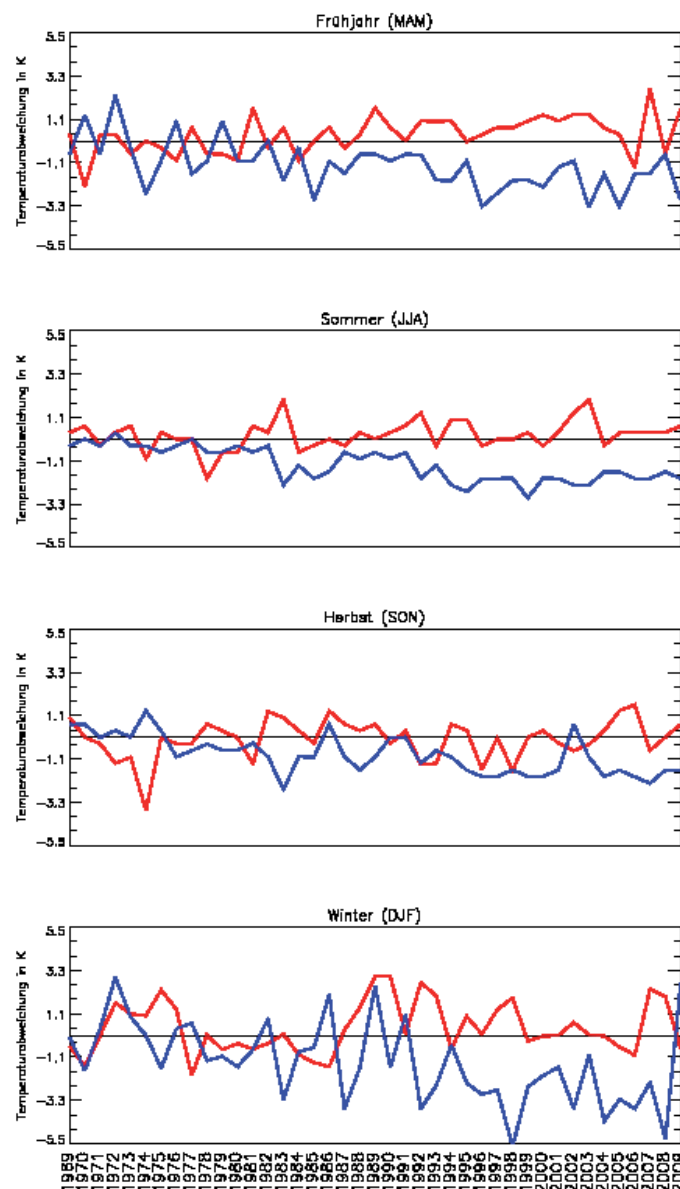


Abb. 4: Abweichungen der mittleren Lufttemperatur vom Referenzzeitraum 1961-1990 für die Jahreszeiten in 500 hPa (rot) und 50 hPa (blau) (Mittelwerte über 7 Stationen)

Temperaturminima in der Stratosphäre

2009 wurde aufgrund der winterlichen Stratosphärenenerwärmung an keiner deutschen Radiosondenstation ein Temperaturminimum von -80°C und niedriger gemessen. Die im Gegensatz zum Winter 2008 relativ warme Stratosphäre war gekoppelt mit einer Zunahme des Ozongehaltes (s. Ozonbulletin des Deutschen Wetterdienstes, Nr. 123, Juni 2009).

Die agrarmeteorologische Situation im Jahr 2009

W. Trampf, F.-J. Löpmeier

Übersicht über den Verlauf des Jahres

Die erste **Januar**hälfte war bei häufigem Dauerfrost durch eine kalte und trockene Witterung gekennzeichnet. Nachts traten mäßige bis strenge, zeitweise auch sehr strenge Fröste mit Minima um -15°C auf. Im südlichen Ostdeutschland wurden in 2 m Höhe Tiefstwerte bis -25°C gemessen. In der Nähe des Erdbodens (5 cm) sank das Thermometer bis auf -30°C . Die Frosteindringtiefen erreichten Werte um 35 cm. Die Niederschläge fielen als Schnee, so dass sich im größten Teil Deutschlands eine dünne Schneedecke mit Höhen um 5 cm ausbildete. Schneehöhen um 15 cm waren im südlichen Ostdeutschland, von mehr als 20 cm in den Mittelgebirgslagen von Ost- und Süddeutschland sowie in den Alpen anzutreffen. In der zweiten Monatshälfte wurde es mild, so dass die Krume bei einem Temperaturmittel um 1°C wieder auftauen konnte. In tieferen Schichten blieben die Böden weiterhin gefroren. Zum Monatsende zeigte sich mit leichtem Dauerfrost in der Osthälfte wieder ein winterlicher Witterungsabschnitt. So waren Ende Januar im Süden Frosteindringtiefen um 25 cm, sonst um 15 cm, zu verzeichnen.

Die Bodenfeuchten blieben in der Schicht bis 60 cm Tiefe im gesamten Monat im Sättigungsbereich.

Infolge der winterlichen Witterung blieb die absolute Vegetationsruhe bis zum Ende der zweiten Dekade bestehen. Erst im letzten Monatsdrittel wurde im Westen vereinzelt die Haselblüte beobachtet.

Eine unbeständige, am Beginn und Ende milde Witterung, charakterisierte den **Februar**. Zum Monatsbeginn taute die Krume langsam auf, doch in tieferen Schichten blieben die Böden gefroren. Zu Beginn des zweiten Februardrittels setzte mit einem Kaltlufteinbruch und Schneefall ein winterlicher Witterungsabschnitt ein, der bis zum Dekadenende anhielt. Nachts traten leichte bis mäßige, im Süden auch strenge bis sehr strenge Fröste auf. Im Gebiet südlich der Donau wurden wiederholt in 2 m Höhe Minima um -15°C sowie um -20°C in der Nähe des Erdbodens gemessen. Niederschläge fielen als Schnee, so dass fast in allen Gebieten Schneehöhen um 5 cm, im Osten um 10 cm sowie im Süden um 15 cm gemessen wurden. Der Frost drang wieder in die Böden ein, so dass im größten Teil Deutschlands die Eindringtiefen um 10 cm, im Süden um 20 cm, lagen. Erst in den letzten Februartagen floss wieder milde Meeresluft nach Deutschland, so dass die Böden mit Ausnahme des höheren Berglandes frostfrei wurden. Ende Februar wurden im Nordwesten, Westen und Südwesten Krumenmittel um 7°C , in den meisten anderen Gebieten um 5°C , errechnet.

Bei übernormal hohen Monatssummen des Niederschlags blieben die Böden im gesamten Monatsverlauf gesättigt.

Im ersten Februardrittel wurde mit der Haselblüte der Beginn des Vorfrühlings vor allem im Nordwesten und Westen beobachtet. Witterungsbedingt machte die phänologische Entwicklung während der winterlichen Witterungsperiode in der zweiten Dekade kaum Fortschritte. Dann setzte auch in den tieferen Lagen des Südwestens die Haselblüte, im Westen und Nordwesten die Blüte der Schneeglöckchen ein. Aus dem

Nordwesten und Westen wurde Ende Februar der Beginn der Blüte der Erlen gemeldet.

Wie der Februar war auch der **März** durch eine unbeständige Witterung mit einem kurzen winterlichen Abschnitt in der zweiten Monathälfte gekennzeichnet. Die mittleren Krumentemperaturen lagen überwiegend um 5°C. In der letzten Märzdekade zeigte sich nochmals mit Schneefall eine mäßig-kalte Witterungsperiode. Nachts traten verbreitet leichte, in der Nähe des Erdbodens auch mäßige Fröste auf. Die mittleren Krumentemperaturen gingen zur Mitte des letzten Märztrittels auf Werte um 2°C zurück. Erst am Monatsende wurde es wieder wärmer.

Durch überdurchschnittlich hohe Monatssummen des Niederschlags wurden in allen Gebieten in der Schicht bis 60 cm Tiefe beständig Bodenfeuchten um 100 % nutzbarer Feldkapazität (nFK) errechnet.

Auf den nassen Böden konnten im März kaum Bestellarbeiten ausgeführt werden, so dass erst zum Monatsende im Westen und Südwesten sowie auch im südlichen Norddeutschland die Aussaat von Sommergetreide erfolgen konnte. In diesen Gebieten begann Winterraps mit dem Längenwachstum. Im Rhein-Main Gebiet und auch in Franken wurde mit der Bestellung von Zuckerrüben begonnen. Infolge der milden Witterung setzten bis zum Ende des ersten Märztrittels in fast allen Gebieten die Haselblüte sowie auch die Schneeglöckchenblüte ein.

Die wiederholt aufgetretenen winterlichen Witterungsperioden führten in diesem Jahr zu einer Verspätung des Vorfrühlings von fast zwei Wochen. Aus dem gesamten norddeutschen Raum sowie dem Westen und Südwesten wurde in der ersten Märzdekade, in den anderen Gebieten erst in der zweiten Dekade, der Beginn der Erlenblüte gemeldet. Im zweiten Monatsdrittel begann in weiten Teilen Deutschlands ebenfalls die Huflattichblüte, die Salweiden blühten im Südwesten, Westen und Nordwesten. Bis Ende März blühten der Huflattich und die Salweide auch im gesamten Norden und Südosten. In den letzten Märztagen wurde der Beginn der Forsythienblüte aus den tieferen Lagen des Westens und Südwestens gemeldet. Stachelbeersträucher und andere frühe Gehölze entfalteten dort ihre Blätter. Mit Ausnahme des Berglandes zeigte sich in allen Gebieten der Beginn des Ergrünnens der Grasflächen.

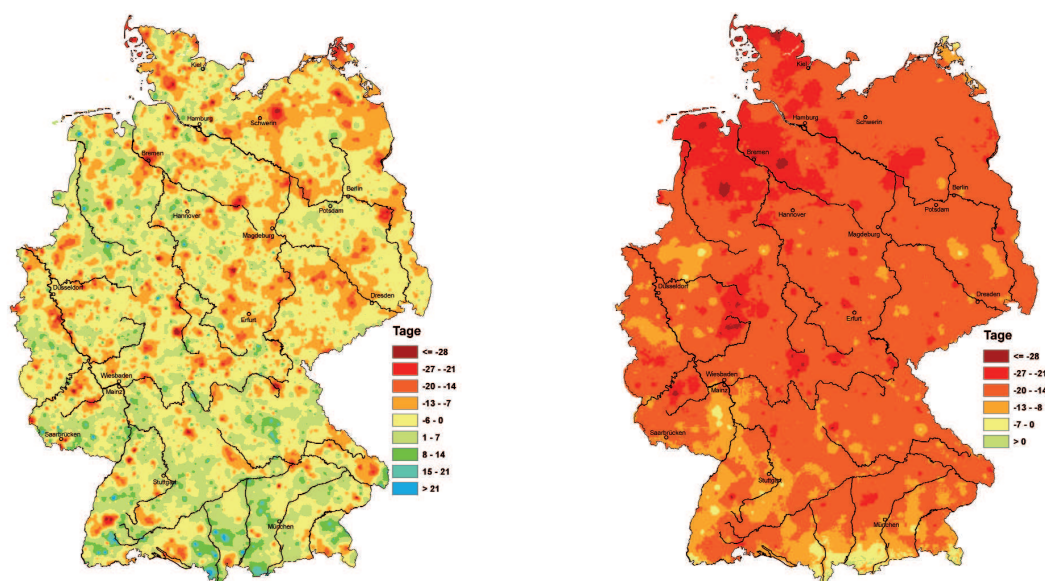


Abb. 1: Abweichung der Schneeglöckchen-(links) und Apfelblüte (rechts) vom vieljährigen Mittel.

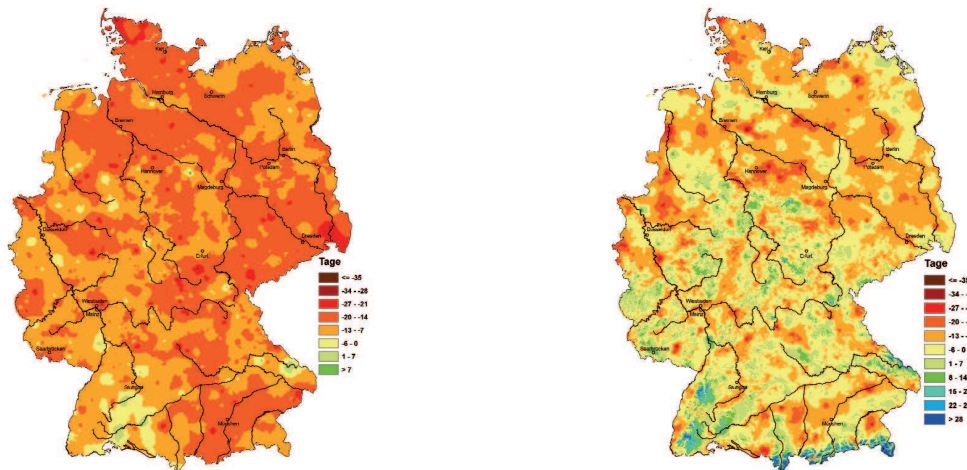


Abb. 2: Abweichung der Eintrittsdaten für das Ährenschieben vom Winterroggen (links) und der Fruchtreife der Rosskastanie (rechts) vom vieljährigen Mittel.

Der **April** konnte als der wärmste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen gewertet werden. Er war nach den nassen Vormonaten deutlich zu trocken. Leichte Nachtfröste vor allem in der Nähe des Erdbodens traten am Monatsbeginn und –ende im Süden und Osten auf. Die mittleren Krumentemperaturen, die in den ersten Apriltagen erst um 8°C lagen, stiegen auf Werte um 15°C an. Sie gingen in kühleren Perioden auf Werte um 12°C zurück.

Im Nordosten traten im gesamten Aprilverlauf keine nennenswerten Niederschläge auf. Doch auch in den anderen Gebieten waren deutlich unterdurchschnittliche Monatssummen zu vermerken, die meist unter 50% der vieljährigen Werte lagen. So gingen bis zum Monatsende die Bodenfeuchten unter Gras meist auf Werte um 80% nFK, im Nordwesten und in Schleswig-Holstein um 70% nFK sowie im Osten um 60% nFK zurück. In Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, wo nur Niederschlagssummen um 5 mm im gesamten Monat gemessen wurden, war die oberste Bodenschicht bis 20 cm Tiefe ausgetrocknet. In den tieferen Schichten waren aber höhere Bodenwasservorräte vorhanden.

Nach dem niederschlagsreichen März wurde bei günstiger Witterung am Monatsbeginn zunächst noch Sommergetreide, dann Zuckerrüben und Kartoffeln bestellt. Vom zweiten Aprildrittel an begann die Maisbestellung, der Aufgang wurde zum Monatsende beobachtet.

Winterraps war Anfang April noch im Schossen, dann setzte die Knospenbildung ein und in der letzten Dekade zeigte sich überall die Blüte. Wintergetreide begann im Monatsverlauf in allen Gebieten mit dem Längenwachstum. Auch das Grünland entwickelte sich zügig, so dass Ende April die Blüte des Wiesenfuchsschwanzes beobachtet wurde.

Nach der Blühtentfaltung der Stachelbeeren waren am Ende der ersten Aprildekade in allen Teilen Deutschlands die Sträucher wieder ergrünt. Die warme Witterung führte dazu, dass im ersten Monatsdrittel in den tieferen Lagen des Südwestens und Westens die Blüte der Süßkirschen sowie der Birken und des Löwenzahns begann. In der folgenden Dekade wurden diese phänologischen Phasen auch im übrigen Deutschland beobachtet. Rasch folgte die Blüte der Apfelbäume, deren Beginn von der Monatsmitte an in allen Gebieten beobachtet wurde. Am Ende der zweiten Aprildekade hatten die Rotbuchen überall ihre Blätter entfaltet.

Die außergewöhnlich milde Witterung führte zu einer raschen Entwicklung der Pflanzen, so dass die im März noch beobachtete Verspätung der phänologischen Eintritts-

daten sich zu einer Verfrühung hin veränderte. Insgesamt waren Ende April die Eintrittsphasen nun ca. 10 Tage verfrüht.

Nach dem trockenen Vormonat zeichnete sich der **Mai** durch eine unbeständige und überwiegend mäßig-warme, zeitweise aber auch kühle Witterung aus. Im ersten Maidrittel trat im Süden stellenweise noch leichter Nachtfrost in der Nähe des Erdbodens, im Südosten auch in 2 m Höhe, auf. Die mittleren Krumentemperaturen lagen häufig um 18°C, in wärmeren Perioden um 21°C.

Die Niederschläge bewegten sich im Mai im normalen bis übernormalen Bereich. Am Monatsende lagen die Bodenfeuchten unter Gras und unter den Kulturen in der gesamten Südhälfte um 85% nFK. Im übrigen Deutschland wurden unter Gras Werte um 55% nFK, unter Winterweizen um 40% nFK, errechnet. Unter Zuckerrüben und Mais lagen die Feuchten um 90% nFK.

Bis zum Ende der ersten Maidekade waren in allen Gebieten mit Mais bestellte Flächen aufgelaufen ebenso im Südosten, Norden und im Bergland die Kartoffeln. Zunächst blühte überall der Winterraps, bis zum Monatsende waren die Winterrapsbestände in allen Gebieten abgeblüht. Wintergerste und Winterroggen schoben bis zur Monatsmitte die Ähren. Bei Hafer und den anderen Sommergetreidearten wurde bis zum Ende des zweiten Maidrittels der Beginn des Längenwachstums beobachtet, am Monatsende setzte im Westen das Rispenschieben ein.

In allen Gebieten erfolgte in der ersten Maihälfte der erste Gräserschnitt zur Gewinnung von Silage. Im letzten Maidrittel konnten die trockenen und warmen Tage mit einer hohen Verdunstung zur Heuwerbung genutzt werden.

In den tieferen Lagen des Westens und Südwestens sowie auch im südlichen Nord- und Ostdeutschland zeigten in den letzten Maitagen Zuckerrüben den Bestandschluß, ebenso die Kartoffeln. Nachdem bereits im zweiten Maidrittel gebietsweise die Blüte des Winterroggens erfolgte, wurde sie in der letzten Dekade in allen Teilen Deutschlands beobachtet. Winterweizen schob in allen Gebieten im Verlauf der zweiten Maihälfte die Ähren.

Mit dem Abblühen der Apfelbäume war am Ende der ersten Dekade im Südwesten und Westen, bis zum Monatsende überall, die Obstbaumblüte abgeschlossen. Zügig entwickelten sich die Früchte, so dass in den letzten Maitagen vor allem im oberen Rheingraben die Süßkirschen reif wurden. In den tieferen Lagen des Südwestens und Westens setzte im zweiten, im übrigen Deutschland im letzten Monatsdrittel, die Blüte der Robinien ein.

Mit dem Beginn der Blüte des Schwarzen Holunders begann von der zweiten Dekade an zunächst im Südwesten, bis zum Monatsende auch in den anderen Gebieten der phänologische Frühsommer. Die Eintrittsdaten waren ca. eine Woche verfrüht.

Der **Juni** zeigte in den ersten beiden Dekaden eine kühle Witterung, wobei die Schafskälte mit niedrigen Nachttemperaturen in der Nähe des Gefrierpunktes deutlich zu bemerken war. Die mittleren Krumentemperaturen bewegten sich um 17°C, in wärmeren Perioden um 20°C.

Mit Ausnahme des äußersten Südens und des Südwestens erreichten die Monatssummen des Niederschlags nicht die vieljährigen Werte. So gingen die Bodenfeuchten zurück und lagen Ende Juni unter Gras im Norden um 50% nFK, sonst um 70% nFK. Unter Winterweizen wurden Feuchten um 35% nFK, unter Zuckerrüben um 40% nFK sowie unter Mais um 80% nFK errechnet. Im äußersten Süden waren die Böden gesättigt.

Im Verlauf der ersten Junidekade waren Wintergerste und auch Winterroggen in der Kornausbildung, Wintergerste zeigte die beginnende Abreife. Im weiteren Monatsverlauf wurde Wintergerste zunächst in den tieferen Lagen des Südwestens und Westens sowie gebietsweise im südlichen Teil des Ostens gelbreif. Bis zum Monatsende zeigten die Bestände auch in den anderen Gebieten das Stadium der Gelbreife. Im Südwesten wurde Ende Juni die Vollreife beobachtet, so dass im Rheingraben der Mähdrusch begann. Hafer schob in der ersten Junihälfte in allen Gebieten die Rispen. Winterroggen und Winterweizen reiften im Monatsverlauf und erreichten bis Ende Juni verbreitet die Milch- oder Teigreife. Bei Mais wurde im Juni überall das Stadium des Längenwachstums beobachtet. Kartoffeln und Zuckerrüben hatten bis zum Ende der zweiten Junidekade überall die Bestände geschlossen.

Niederschlagsfreie Tage mit guten Trocknungsbedingungen wurden zur Heuwerbung genutzt. Im ersten Junidrittel wurden in den klimatisch begünstigten Gebieten im Südwesten, Westen und im südlichen Ostdeutschland die Süßkirschen reif, ebenso die Johannisbeeren. Bis zum Monatsende waren Süßkirschen und Johannisbeeren in allen Gebieten reif. Zunächst wurde in den ersten Junitagen in den klimatisch begünstigten Gebieten, bis zum Monatsende überall, der Beginn der Sommerlindenblüte beobachtet. Die Eintrittsphasen waren allgemein um eine Woche verfrüht.

Wie im Vormonat zeichnete sich auch der **Juli** durch eine unbeständige Witterung aus, wobei nur in wenigen Abschnitten hochsommerliche Temperaturen auftraten. Die mittleren Krumentemperaturen, die in warmen Abschnitten Werte um 25°C erreichten, lagen überwiegend um 17°C.

Hohe Niederschlagsraten führten zu einer positiven klimatischen Wasserbilanz. So lagen die Bodenfeuchten unter Gras und Mais am Monatsende meist um 50% nFK, im Süden, im Bergland sowie in Schleswig-Holstein um 90% nFK. Unter Zuckerrüben wurden in weiten Teilen des Ostens sowie im Rhein-Main Gebiet und der Pfalz geringe Feuchten um 20% nFK errechnet, sonst lagen sie um 40% nFK. Dort, wo ergiebige Niederschläge auftraten, waren es höhere Werte um 60% nFK, im äußersten Süden um 90% nFK.

Im Monatsverlauf wurde in allen Gebieten Wintergerste gedroschen, so dass Ende Juli die Ernte weitgehend beendet war. Winterroggen und –weizen erreichten meist in der ersten Monatshälfte die Gelbreife, dann die Vollreife. Verbreitet wurde in der zweiten Julihälfte im Süden, Westen sowie auch im südlichen Teil des Ostens mit dem Mähdrusch begonnen, bei Sommergetreide wurde der Eintritt der Gelbreife beobachtet. Winterraps zeigte die Vollreife und wurde in der zweiten Monatshälfte in allen Gebieten geerntet. Mais schob im ersten Julidrittel in den tieferen Lagen des Südwestens und Westens sowie in Teilen des südlichen Ostdeutschlands die Fahnen, bis zur dritten Dekade auch in den anderen Gebieten. Dem Fahnenschieben folgte rasch die Blüte und zum Monatsende wurde im oberen Rheingraben und in Niederbayern der Eintritt der Milchreife beobachtet.

Mit Ausnahme des Norddeutschen Tieflandes und der Mittelgebirgsregionen wurden in der letzten Julidekade überall frühe Apfelsorten reif.

Nachdem im Juni und Juli eine wechselhafte Witterung mit kühlen Abschnitten vorherrschte, gestaltete sich der **August** deutlich zu warm. Die mittleren Krumentemperaturen bewegten sich überwiegend um 23°C, in den sehr warmen Witterungsperioden um 25°C.

Im gesamten August fielen nur geringe Niederschläge, so dass bei einer negativen klimatischen Wasserbilanz die Bodenfeuchten unter Gras bis zum Monatsende auf Werte um 40% nFK, im äußersten Süden und äußersten Norden um 80% nFK, zurückgingen. Dort wurden auch unter Mais und Zuckerrüben Feuchtwerte derselben Größenordnung errechnet. Sonst lagen sie mit Ausnahme des Berglandes unter Mais meist um 20% nFK sowie unter Zuckerrüben um 10% nFK.

Bei günstiger Witterung konnte der Mähdrusch von Getreide und Raps im Monatsverlauf ungestört weitergeführt und bis zum Ende abgeschlossen werden. Niedrige Kornfeuchten machten das Erntegut ohne Nachtrocknung lagerfähig. Mittelfrühe und späte Kartoffeln sowie Zuckerrüben waren im gesamten August im Dickenwachstum. Mais hatte im Monatsverlauf überall die Milchreife, am Monatsende gebietsweise auch die Siloreife erreicht, so dass vereinzelt mit der Ernte von Silomais begonnen wurde.

Auf den abgeernteten Feldern setzte die Bestellung von Winterraps ein. Bis zum Monatsende war vor allem im Bergland, wo die Krume ausreichend feucht war, der Aufgang zu beobachten. In den anderen Gebieten mit geringen Niederschlägen liefen die Flächen langsamer auf.

In der ersten Augushälfte wurden frühe Apfelsorten und Pflaumen in weiten Teilen Deutschlands reif. Bis zum Monatsende war die Fruchtreife des Schwarzen Holunders in allen Gebieten zu beobachten. Damit hatte der phänologische Frühherbst begonnen, wobei die Eintrittsdaten etwa eine Woche verfrüht auftraten.

Nach dem hochsommerlichen August fiel auch der **September** zu warm und zu trocken aus. Erst zum Monatsende wurde im Osten stellenweise leichter Frost in der Nähe des Erdbodens beobachtet. Die mittleren Krumentemperaturen, die in den ersten Septembertagen verbreitet um 23°C lagen, erreichten im weiteren Monatsverlauf häufig Werte um 17°C. Ende September lagen die Krumenmittel mit Ausnahme des Südens und Westens um 12°C.

Bei unternormalen Monatssummen des Niederschlags konnten die Böden auch im Gebiet südlich der Donau abtrocknen. Die Bodenfeuchten unter Gras lagen dort am Monatsende um 90% nFK, sonst verbreitet um 50% nFK. Im Norden und Osten wurden niedrigere Werte um 35% nFK errechnet.

Bis zum Ende des ersten Septemberdrittels war Winterraps überall aufgelaufen. Bei günstigen Witterungsbedingungen wurde dann mit der Bestellung von Wintergerste, später auch von Winterroggen, begonnen. Der Aufgang von früh bestellten Flächen wurde von der Monatsmitte an beobachtet.

Mit dem Erreichen der Siloreife begann zu Monatsbeginn in weiten Teilen Deutschlands die Ernte von Silomais. In der zweiten Monatshälfte wurde auch Körnermais als Corn-Cob-Mix geerntet. Ebenso wurden späte Kartoffelsorten im gesamten September gerodet. Zuckerrüben waren bis in die letzte Dekade hinein im Dickenwachstum. In den letzten Septembertagen begann die Rodung, die bei den günstigen Witterungsverhältnissen zügig erfolgen konnte.

In der zweiten Monatshälfte begann in den Weinbaugebieten die Lese der frühen Sorten.

Bis zum Ende des zweiten Septemberdrittels wurde in allen Gebieten die Fruchtreife der Rosskastanien beobachtet. Die Eintrittsdaten waren um wenige Tage verfrüht. Zum Monatsende setzte bei den Rotbuchen als Zeichen des Herbstes die Blattverfärbung ein.

Während der **Oktober** mit einer warmen Witterung fast sommerlich begann, wurde es im zweiten Monatsdrittel nach einem markanten Kaltlufteinbruch und Schneefall im Bergland des Ostens und Südostens winterlich. Die mittleren Krumentemperaturen stiegen zunächst auf Werte um 16°C im Süden sowie um 12°C im Norden. Nachts traten zunächst leichte, zur Monatsmitte im äußersten Süden und in der Nähe des Erdbodens auch mäßige Fröste auf. Die mittleren Krumentemperaturen gingen auf Werte um 5°C zurück. Zur Monatsmitte entstand im Südosten und im Bergland des Ostens vorübergehend eine dünne Schneedecke. Im weiteren Oktoberverlauf lagen die mittleren Krumentemperaturen um 10°C. Zum Monatsende erfolgte von Osten her eine Abkühlung, so dass nur noch Maxima um 9°C, in der Osthälfte um 6°C, gemessen wurden.

Mit Ausnahme des Südwestens wurden übernormal hohe Monatssummen des Niederschlags gemessen. Vor allem im Osten waren hohe Werte zu vermerken, so dass die Bodenfeuchten deutlich anstiegen und am Monatsende unter Gras meist Werte um 85% nFK errechnet wurden.

Im gesamten Oktober wurden die Körnermaisenernte und die Rodung der Zuckerrüben vorgenommen. Am Monatsende waren die Erntearbeiten abgeschlossen.

Winterroggen und Wintergerste liefen überall bis zur Monatsmitte auf. In allen Gebieten wurde Winterweizen bestellt, bis zum Monatsende waren die bestellten Flächen aufgelaufen.

In den Weinbaugebieten wurde die Lese von späten Sorten durchgeführt und abgeschlossen. Nach Angaben des Deutschen Weininstituts fiel die Traubenernte in diesem Jahr bei guter Qualität niedriger als in den Vorjahren aus.

Nach der Laubverfärbung setzte bei den Rotbuchen bis zum Monatsende der Blattfall ein. Die Eintrittsdaten waren um etwa eine Woche verfrüht.

Nach dem kalten Oktober war der gesamte **November** durch beständige Tiefdrucktätigkeit und Zufuhr milder bis sehr milder Luftmassen gekennzeichnet. Die mittleren Krumentemperaturen, die zunächst um 10°C, in der Osthälfte um 5°C lagen, erreichten im Monatsverlauf meist Werte um 8°C und gingen erst am Ende wieder auf Werte um 5°C zurück.

Häufige Niederschläge führten zu überdurchschnittlich hohen Monatssummen. Bei einer positiven klimatischen Wasserbilanz stiegen die Bodenfeuchten in allen Gebieten weiter an und lagen im Monatsverlauf unter Gras bis in eine Tiefe von 60 cm im Bereich der Sättigung. Auch in den Trockengebieten im südlichen Ostdeutschland und in der Pfalz konnte eine Auffüllung erfolgen.

Auf den nassen Böden waren kaum noch landwirtschaftliche Außenarbeiten möglich. Weiterhin wurden an Feldrändern gerodete Zuckerrüben zu den Fabriken transportiert.

Auch im **Dezember** setzte sich die unbeständige Witterung mit ergiebigen Niederschlägen fort. Dabei gelangte zum Monatsbeginn vorübergehend mäßig-kalte Luft nach Deutschland, so dass im Bergland Schneefall zu verzeichnen war. Nachts traten verbreitet leichte, in der Nähe des Erdbodens auch mäßige Fröste auf. Überwiegend blieb es jedoch mild, bis zu Beginn des zweiten Dezemberdrittels eine winterliche Witterung mit verbreitetem Dauerfrost einsetzte. Der Kaltlufteinbruch war mit Schneefall verbunden, so dass sich vor allem in der Osthälfte eine Schneedecke ausbildete. Nachts wurden in allen Gebieten mäßige bis teilweise sehr starke Fröste beobachtet.

Während sich zu Monatsbeginn infolge der milden Witterung und Tagesmitteltemperaturen oberhalb von 5°C die allgemeine Vegetationsruhe noch nicht eingestellt hatte, führte der Wintereinbruch zu einem Ende des Pflanzenwachstums.

Bodenfeuchte und Mikroklima

Schlagzeile:

Der viel zu trockene und zu warme April 2009 führte im Norden und Osten Deutschlands für mehrere Wochen zu Wachstumseinschränkungen bei den landwirtschaftlichen Kulturen.

Der April 2009 erreichte in vielen Regionen mit deutlich positiven Abweichungen bei den Bodentemperaturen und den bodennahen Temperaturen von bis zu 5 K und extrem trockenen Bedingungen nahezu Verhältnisse wie der April 2007.

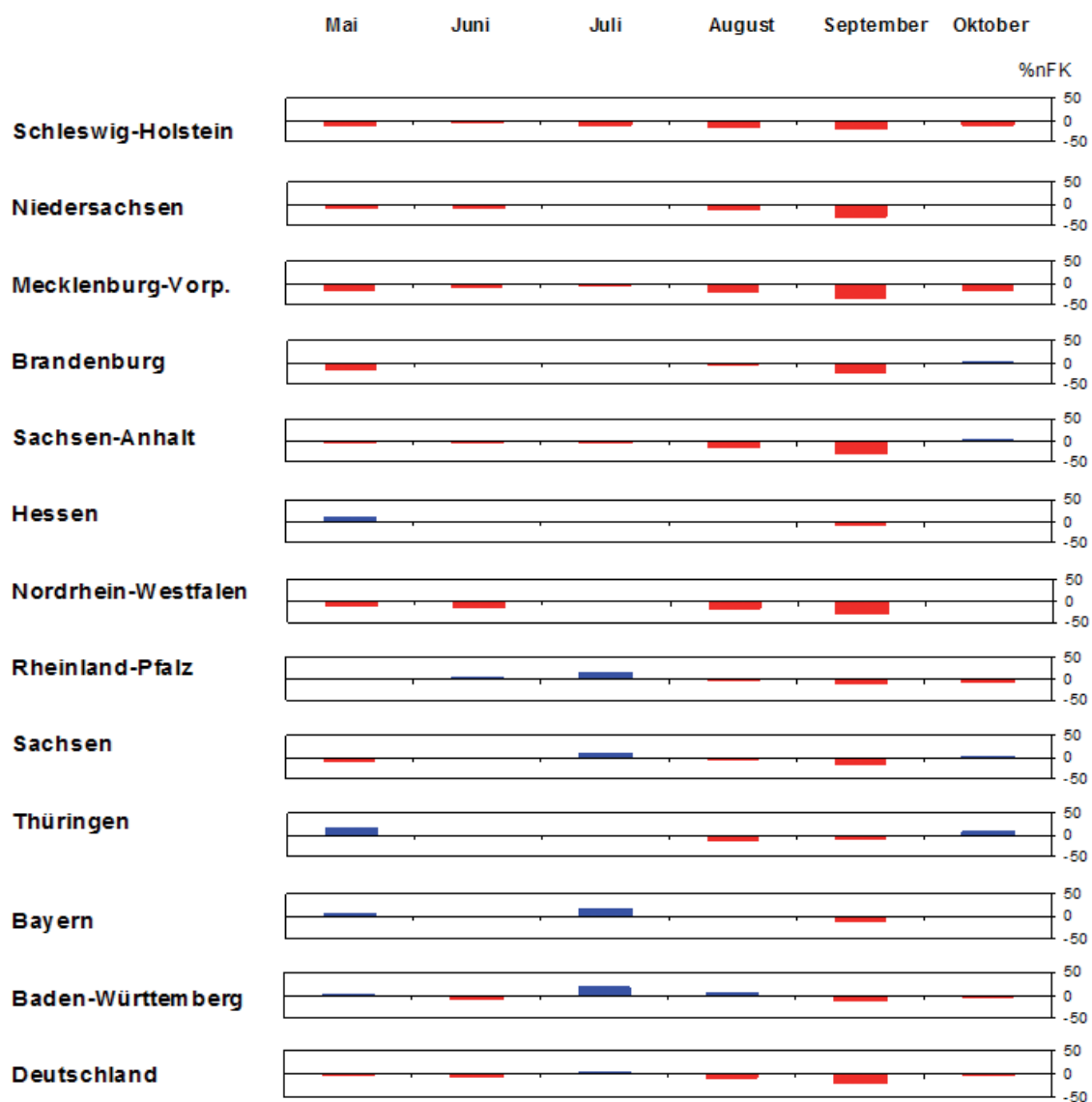


Abb. 3: Monatliche Abweichungen der Bodenfeuchte unter Wintergetreide auf leichten Standorten (% NFK) im Jahr 2009 vom langjährigen Mittelwert 1962 – 2006 (rot = zu trocken, blau = zu feucht)

Tab. 1: Charakteristische agrarmeteorologische Kenngrößen für das Jahr 2009. Die Tabelle enthält die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert (1962-2006) im Jahr 2009 für die Parameter Bodentemperatur, Minimumtemperatur in Bodennähe, Penman-Verdunstung und Benetzungszeit. Die rot dargestellten Werte stellen zu warme Monate, bzw. Zeiten mit hoher Verdunstung und geringer Blattbenetzung, die blauen Werte zu niedrige Temperaturen, hohe Blattbenetzung und geringe Verdunstung dar.

	Januar		Februar		März			April			Mai			Juni						
	A	B	A	B	A	B	C	E	A	B	C	D	A	B	C	D				
Schleswig-Holstein	-1.0	-0.3	-0.2	0.8	1.2	1.7	76.7	1.6	4.2	2.4	138.4	59.2	1.0	0.5	115.1	86.0	-1.0	-1.0	100.1	95.8
Niedersachsen	-1.8	-2.2	-0.2	1.5	0.9	1.3	79.8	4.3	4.5	2.7	131.8	72.2	1.1	0.2	108.3	82.8	-0.9	-0.9	96.9	91.2
Mecklenburg-Vorp.	-1.1	-0.1	-0.6	0.7	1.2	1.7	82.2	2.0	4.0	2.1	141.1	58.0	0.8	-0.1	107.2	88.3	-1.4	-1.0	94.6	106.7
Brandenburg	-1.2	-3.0	-0.5	1.0	1.2	2.0	79.6	3.6	4.6	2.6	150.2	54.2	0.8	0.0	101.7	96.3	-1.4	-0.6	85.7	107.5
Sachsen-Anhalt	-1.8	-3.1	-0.5	2.1	1.2	1.8	81.9	4.2	4.6	2.7	135.3	58.3	1.3	0.4	104.3	100.0	-1.3	-0.7	89.1	117.6
Hessen	-2.9	-4.3	-1.0	0.6	-0.2	0.3	78.3	5.0	3.8	3.1	122.4	73.1	1.1	0.7	98.1	96.9	-1.0	-0.9	91.0	102.3
Nordrhein-Westfalen	-1.9	-5.0	-0.3	0.9	0.4	0.3	80.3	4.9	4.4	3.1	118.4	70.6	1.4	0.3	103.8	81.7	-0.3	-0.5	96.4	94.4
Rheinland-Pfalz	-2.7	-2.6	-1.0	0.1	-0.1	0.2	91.5	2.5	4.0	3.3	118.7	61.9	1.7	1.1	101.2	76.7	0.3	-0.2	104.5	88.8
Sachsen	-1.5	-3.1	-0.8	1.4	0.4	1.7	74.9	7.8	4.8	3.0	141.9	73.9	1.5	0.7	101.7	102.4	-1.3	-0.6	79.8	119.1
Thüringen	-2.4	-2.7	-0.9	0.9	0.4	1.3	80.8	5.3	4.3	3.2	126.3	83.0	1.4	0.8	101.5	98.4	-1.4	-0.7	86.9	106.3
Bayern	-2.7	-2.1	-1.2	0.2	-0.8	1.1	76.4	8.7	3.8	2.4	131.3	73.4	1.5	1.2	101.2	97.8	-0.6	-0.1	92.0	93.4
Baden-Württemberg	-2.8	-3.0	-1.6	-0.9	-1.1	-0.2	80.4	8.0	3.1	2.1	115.9	69.8	2.0	1.0	102.6	106.6	0.1	-0.4	97.6	98.3
Deutschland	-2.1	-2.4	-0.8	0.6	0.2	1.0	80.0	5.4	4.1	2.6	130.0	67.8	1.3	0.6	104.2	92.4	-0.7	-0.6	94.1	98.9

	Juli			August			September			Oktober			November			Dezember				
	A	B	C	F	A	B	C	F	A	B	C	E	A	B	C	A	B			
Schleswig-Holstein	1.1	0.8	103.3	1.5	1.3	0.7	112.3	-2.5	1.3	0.7	116.5	-6.8	-1.1	-1.1	97.4	5.1	2.9	3.9	-0.2	-1.2
Niedersachsen	0.7	0.5	102.4	1.0	1.4	0.3	115.1	-4.0	1.0	0.3	110.9	-18.0	-1.0	-1.0	86.5	8.3	3.1	4.0	-0.4	-1.3
Mecklenburg-Vorp.	0.9	0.5	102.9	-0.1	1.3	0.5	118.2	-3.7	1.3	0.8	121.2	-20.7	-1.4	-1.1	92.5	11.3	2.2	2.9	-0.2	-1.0
Brandenburg	0.8	1.1	98.1	1.1	1.6	0.7	100.4	-3.0	1.5	0.5	111.9	-16.4	-1.4	-0.9	68.9	16.4	2.6	3.4	-0.4	-0.9
Sachsen-Anhalt	0.8	1.0	100.6	0.6	1.6	0.6	118.0	-4.5	1.5	0.5	112.0	-27.3	-1.0	-0.4	73.9	19.7	2.9	3.6	-0.4	-1.0
Hessen	0.5	0.4	99.3	1.7	1.5	0.5	89.5	-1.1	0.8	0.9	99.1	2.1	-0.8	-1.0	84.8	3.2	2.8	3.8	-0.5	-0.8
Nordrhein-Westfalen	0.7	0.5	104.9	0.7	1.7	0.3	99.9	-2.7	0.7	0.1	96.9	-11.4	-0.7	-1.3	81.6	5.2	3.1	3.7	-0.5	-1.1
Rheinland-Pfalz	0.5	0.5	96.2	1.4	2.3	1.3	95.7	-2.2	1.3	1.2	103.1	-10.2	-0.1	-0.6	102.1	-3.4	2.9	3.6	0.2	-0.7
Sachsen	0.8	1.2	98.6	0.8	2.0	1.1	97.7	-2.1	1.7	1.0	102.5	-4.2	-1.1	-0.9	66.0	16.5	2.9	3.8	0.0	-0.6
Thüringen	0.5	0.7	100.4	0.5	1.4	0.5	115.7	-3.2	1.1	1.0	97.4	3.4	-1.0	-0.8	72.1	14.9	3.0	4.1	-0.3	-0.7
Bayern	0.1	0.5	91.8	1.1	1.9	1.1	93.8	-2.4	1.5	1.1	105.5	-9.1	-0.6	-0.2	86.3	2.3	2.2	3.0	-0.1	0.2
Baden-Württemberg	-0.1	0.1	91.9	1.2	2.0	1.1	90.1	-2.0	1.1	0.5	102.6	-19.7	-0.4	-1.0	94.1	-2.4	2.5	2.6	0.0	-0.1
Deutschland	0.5	0.6	98.1	1.0	1.7	0.8	102.3	-2.8	1.2	0.7	106.7	-12.5	-0.8	-0.8	86.0	6.2	2.7	3.4	-0.2	-0.6

Legende:

- A = Bodentemperatur unbewachsener Boden 5 cm (rot = zu warm, blau = zu kalt)
- B = Minimumtemperatur in Bodennähe für unbewachsenen Boden (rot = zu warm, blau = zu kalt)
- C = Penman-Verdunstung, Abw. in % (rot = zu hohe Verdunstung, blau = zu geringe)
- D = Benetzungszeiten, Abw. in % (rot = rel. geringe Benetzungszeiten, blau = relativ hohe)
- E = Krumbodenfeuchte, % nFK (rot = relativ trocken, blau = relativ feucht)
- F = Kornfeuchte (%; 19 Uhr) (rot = relativ gering, blau = relativ hoch)

Die Bodenfeuchtesituation während der Vegetationszeit 2009

Das Jahr 2009 war überwiegend durch eine vom langjährigen Mittel abweichende geringe Bodenfeuchte geprägt (siehe Abb.3). Insbesondere der Norden und die östlichen Bundesländer wiesen nahezu über die gesamte Vegetationszeit zu geringe Bodenfeuchten auf. Die Abweichungen im Mai resultierten überwiegend aus dem erheblich zu trockenen April 2009 (siehe auch Abb.4), der in vielen Gebieten Anlass zur Sorge um die Winterbestände auf leichten Böden gab und auch bei den bestellten Sommerbeständen das Wachstum behinderte.

Mikroklima 2009

Das Mikroklima im Jahr 2009 war geprägt durch einen deutlich zu kalten Januar und einen extrem warmen April.

Der Januar 2009 war ähnlich wie der Januar im Jahr 2006 nach zwei zu warmen Januarmonaten 2007 und 2008 deutlich winterlicher geprägt. Insgesamt ist das Jahr 2009 im Mikroklima mit positiven Abweichungen zum langjährigen Mittelwert zu charakterisieren.

Mit Abweichungen der Bodentemperaturen im April von ca. + 4 K und der bodennahen Lufttemperatur von ca. + 3 K waren die Bedingungen zwar extrem, reichten jedoch bei weitem nicht an die Verhältnisse des April des Jahres 2007 heran, wo z.T. Abweichungen deutlich über 6 K zu verzeichnen waren. Auffallend sind die Verdunstungsraten im April, die mit ca. 20 bis 50 % über den langjährigen Werten lagen, aber auch die Abweichungen im Jahr 2007 von 40 – 60 % nicht erreichen konnten.

Besondere Situation 2009

Der niederschlagsarme April, kombiniert mit hohen Verdunstungsraten, führte in vielen Regionen zu extrem geringen Bodenfeuchten. In der Abbildung 2 sind die berechneten Bodenfeuchten (% nFK) für leichte Standorte und Wintergetreide seit 1962 für Anfang Mai dargestellt. Die roten Säulen kennzeichnen jeweils die fünf geringsten Bodenfeuchten in diesem Zeitraum. Für ganz Deutschland sowie die Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg zählt damit 2009 für Anfang Mai zu den fünf Jahren mit den geringsten Bodenfeuchten. Es wird aber auch deutlich, dass in anderen Bundesländern der Beginn des Monats Mai 2009 keine besonders extremen Bedingungen bei der Bodenfeuchte aufwies.

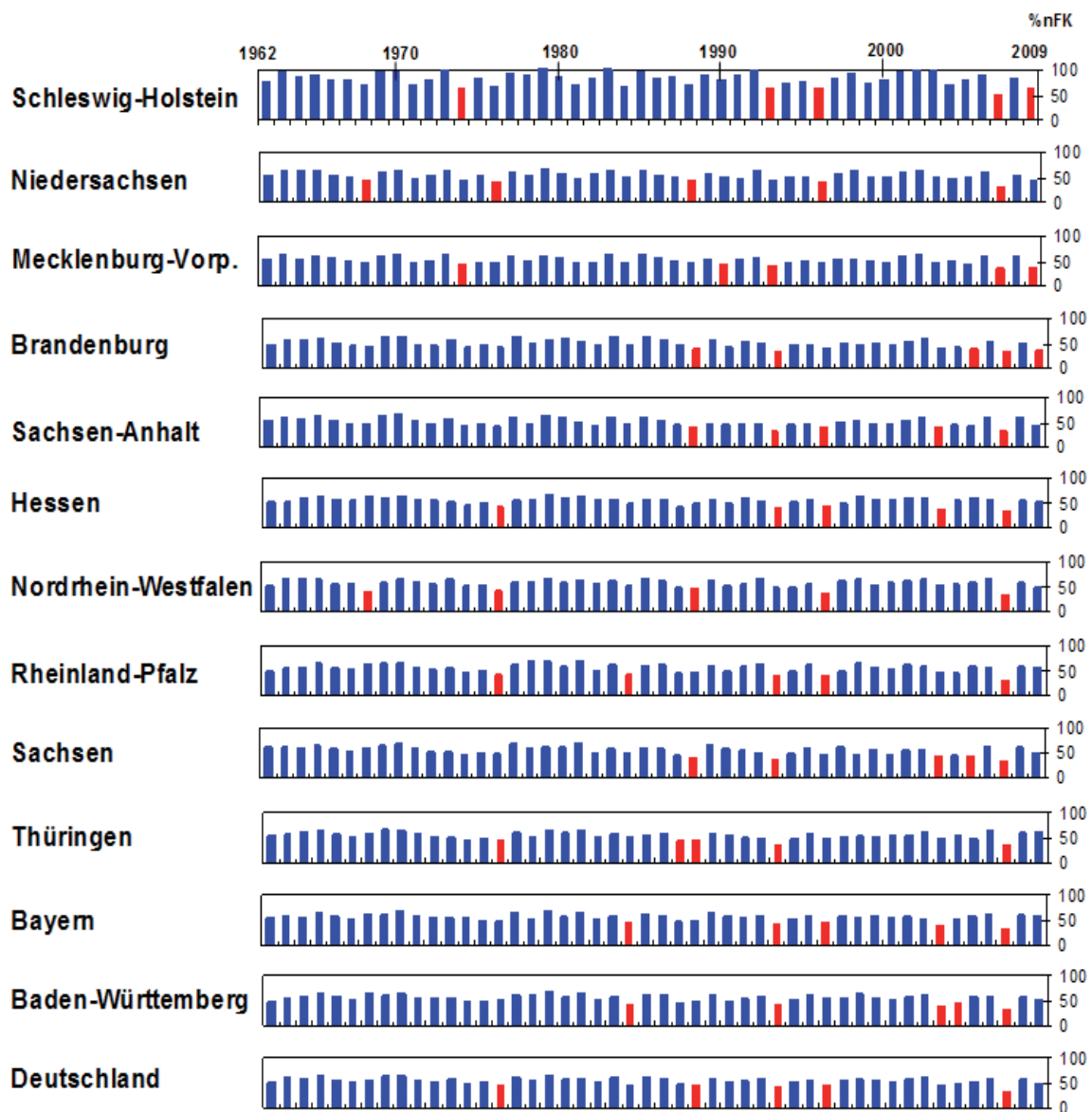


Abb. 4: Bodenfeuchtezustand (% nFK) jeweils Monatsbeginn Mai, 1962 – 2009, für leichte Böden und Wintergetreide, rot = fünf geringsten Bodenfeuchten seit 1962

Jahreszeitlicher Rückblick auf das Klima in Europa (RA VI)

A. Meyer-Christoffer, H. Nitsche

Lufttemperatur

Im **Winter 2008/2009** war es in West- und Südwesteuropa, einschließlich des westlichen Mittelmeergebiets und der Britischen Inseln kälter als normal. Am kältesten war es im Mittel über Frankreich mit einer negativen Abweichung bis zu 2 K. Den größten Anteil an der negativen Temperaturabweichung hatte der Monat Januar, der sowohl in großen Teilen Frankreichs aber auch in Teilen Deutschlands um bis zu 3 K zu kalt war. Aber auch im Dezember 2008 war es in diesem Gebiet kälter als normal und für den südlichen Teil galt das auch noch für den Februar 2009. Überall sonst war der Winter insgesamt wärmer als normal. Die größte positive Abweichung gab es über dem nördlichen Russland, über Spitzbergen und dem Arktischen Meer. Die positiven Temperaturabweichungen lagen hier über 4 K. Ganz Osteuropa einschließlich der Balkanhalbinsel bis hinunter nach Griechenland, ausgenommen die Türkei und der Nahe Osten, sowie die arktischen Gebiete waren schon im Dezember 2008 wärmer als normal. Im Februar 2009 hatte sich dann das Bild der Temperaturanomalien deutlich geändert mit teilweise mehr als 4 K zu niedrigen Temperaturen über dem östlichen Grönland und über Skandinavien und bis zu 2 K zu niedrigen Temperaturen in Süditalien und dem zentralen Mittelmeer, während jetzt der Nahe Osten teilweise über 4 K zu warm war und die positive Temperaturabweichung über Russland unter 4 K lag.

Zum **Frühjahr** hatte sich das Bild der Temperaturanomalien völlig gewandelt. Fast überall war es wärmer als normal, am stärksten über Mitteleuropa mit bis zu 3 K. Lediglich die Türkei und die Gebiete zwischen dem Schwarzen und dem Kaspischen Meer waren etwas kälter als normal. Über West- und Mitteleuropa und auch auf der Balkanhalbinsel lagen die Temperaturen im Jahreszeitenmittel verbreitet zwischen 10 und 15 °C, das Mittelmeer hatte im Mittel 15 - 20 °C und Nord- und Osteuropa hatte Jahreszeitenmittelwerte von 5 – 10 °C. Schon im März war es überall auf dem Europäischen Kontinent mit Ausnahme der Alpen, Teilen des Balkans sowie dem zentralen Mittelmeer und der Türkei etwas wärmer als normal. Im April betrug die positive Temperaturabweichung über Mitteleuropa mehr als 4 K und nur die arktischen Gebiete, Russland, die Schwarzmeerregion und größtenteils die Türkei waren kälter als normal. Im Mai war es ebenfalls größtenteils, über Südeuropa und über der Arktis deutlich, wärmer als normal mit Temperaturanomalien von 3 - 4 K. Südosteuropa, Südrussland und noch einige Teile der Türkei waren kälter als normal.

Der **Sommer** war ebenfalls größtenteils zu warm, jedoch waren die Beträge der Temperaturabweichungen etwas geringer. 2 K Abweichung wurden nur noch teilweise, so in Spanien, Südfrankreich, den Alpenländern, auf dem Balkan, nördlich des Schwarzen Meeres und zum Teil im Mittelmeergebiet überschritten. Kühler als normal war es vor allem auf dem zentralen Nordatlantik. Das Jahreszeitenmittel der Temperatur lag über Mitteleuropa bei 15 - 20 °C, im Süden bei 20 - 25 °C und über Südspanien und dem Mittelmeer großenteils bei 25 - 30 °C. Skandinavien hatte in den mittleren und

nördlichen Teilen immerhin auch 10 – 15 °C im Jahreszeitenmittel. Im Juni war es in Deutschland und dem nördlichen Osteuropa noch relativ kalt mit negativen Abweichungen von 1 - 2 K für Ostdeutschland, Südschweden und um den Finnischen Meerbusen. Dagegen war es auf der Iberischen Halbinsel sowie in der Ukraine und Südrussland bis zu 4 K zu warm. Im Juli war es auf dem zentralen Nordatlantik um 1 – 2 K zu kalt. Abgesehen von Nordostrussland, Nordfinland und der Osttürkei war es jedoch sonst überall auf dem Kontinent zu warm und dies besonders im südlichen Osteuropa und im östlichen Mittelmeer. Die positiven Anomalien lagen dort zwischen 2 und 3 K. Im August war besonders der kühle zentrale Nordatlantik und eine negative Anomalie im Osten der RA VI mit Zentrum zwischen dem Schwarzen und dem Kaspischen Meer ausgeprägt. Sonst war es fast überall wärmer als normal, am stärksten südlich der Alpen mit 3 – 4 K. Für den Mittelmeerraum bedeutete dies im August Monatsmittelwerte von 25 - 30 °C; die Iberische Halbinsel und Italien litten daher auch mehrmals unter Hitzeperioden.

Der **Herbst** war fast überall zu warm; nur kleine Gebiete negativer Temperaturanomalie über dem zentralen Nordatlantik, im östlichen Mittelmeer und am südöstlichsten Rand der RA-VI Region waren verblieben. Über Mitteleuropa betrug die positive Temperaturanomalie 1 - 2 K, 2 - 3 K wurden im südlichen Russland erreicht und in der Arktis um und nördlich von Spitzbergen waren es 3 - 4 K. Damit war das Jahreszeitenmittel der Temperatur für West- und Nordwesteuropa im Bereich 10 - 15 °C, im nördlichen Mittelmeer, der Südhälfte der Iberischen Halbinsel und der Biskaya bei 15 - 20 °C, in Osteuropa und Südsandinavien, dem Alpenraum und Süddeutschland bei 5 - 10 °C und sonst in Skandinavien meist zwischen 0 und 5 °C. Nordnorwegen und Nordschweden hatten im Mittel Temperaturen unter 0 °C, wie auch Spitzbergen und die hochgelegenen Teile Islands.

Die Verteilung der positiven Temperaturanomalien des Herbstes 2009 ging zurück auf die Monate September und November. Der November war für Frankreich der zweitwärmste seit 1900, mit Tageshöchsttemperaturen bis zu 25 °C und auch einer der wärmsten November in der Schweiz. Im September litt Portugal unter zwei 6- bis 7-tägigen Hitzeperioden mit Tageshöchsttemperaturen über 35 °C und kaum ein Tag hatte Tageshöchsttemperaturen unter 25 °C.

Der Oktober dagegen zeigte zwar über der Iberischen Halbinsel und dem Nordatlantik wie auch im östlichen Mittelmeer, dem Nahen Osten und Südrussland positive Temperaturanomalien bis in den Bereich von 3 - 4 K, aber über Skandinavien und Nordosteuropa lag ein großes Gebiet negativer Temperaturanomalie von 2-3 K und auch im zentralen Mittelmeergebiet, in Mittel- und Süditalien, der Adria und dem angrenzenden Balkangebiet war die Temperaturanomalie noch negativ bis 1 K. Der Oktober brachte Mitteleuropa einen recht frühen ersten Wintereinbruch, während die Iberische Halbinsel unter ausgesprochenen Hitzeperioden litt. .

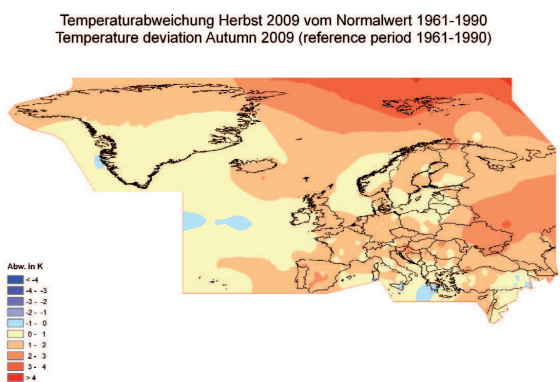
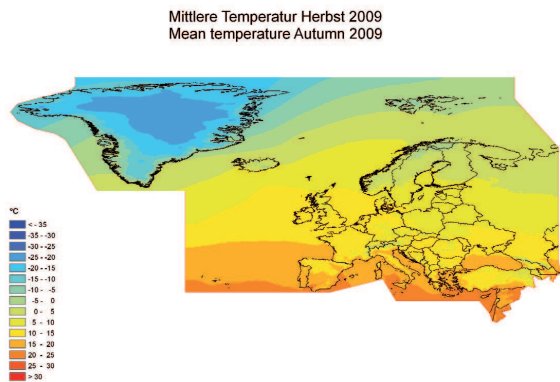
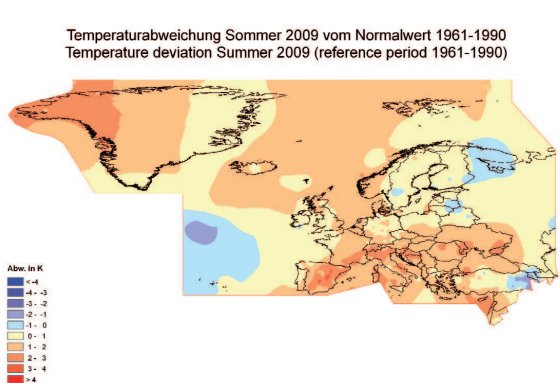
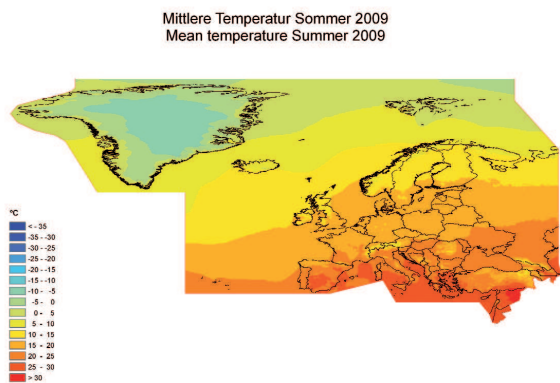
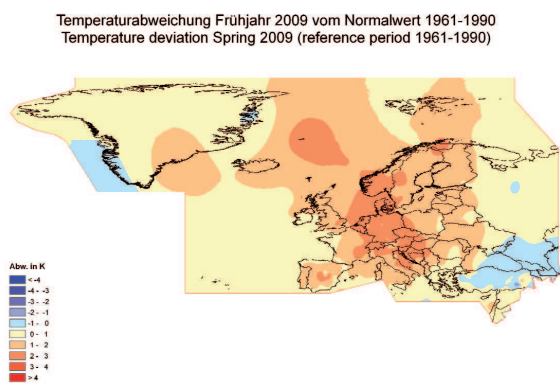
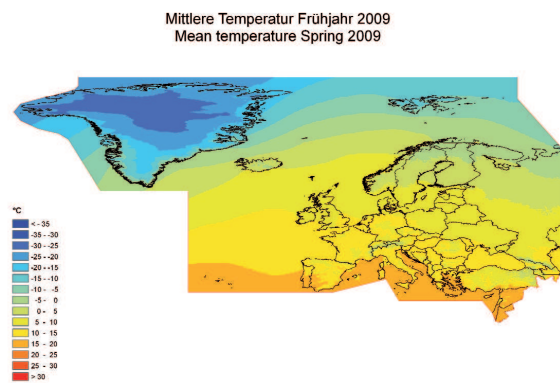
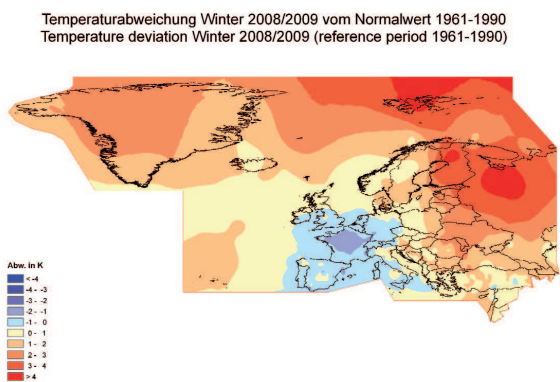
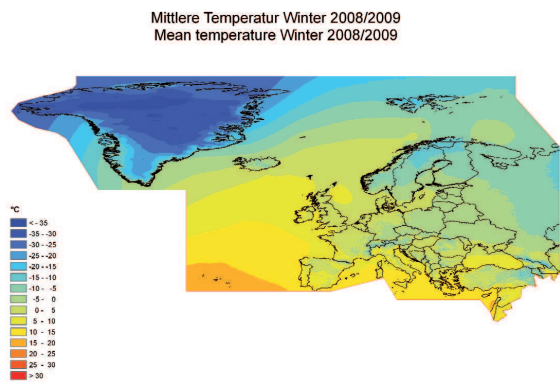


Abb. 1a: Mittelwerte der Lufttemperatur in °C für die Jahreszeiten

Abb. 1b: Anomalien der Lufttemperatur in K gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990

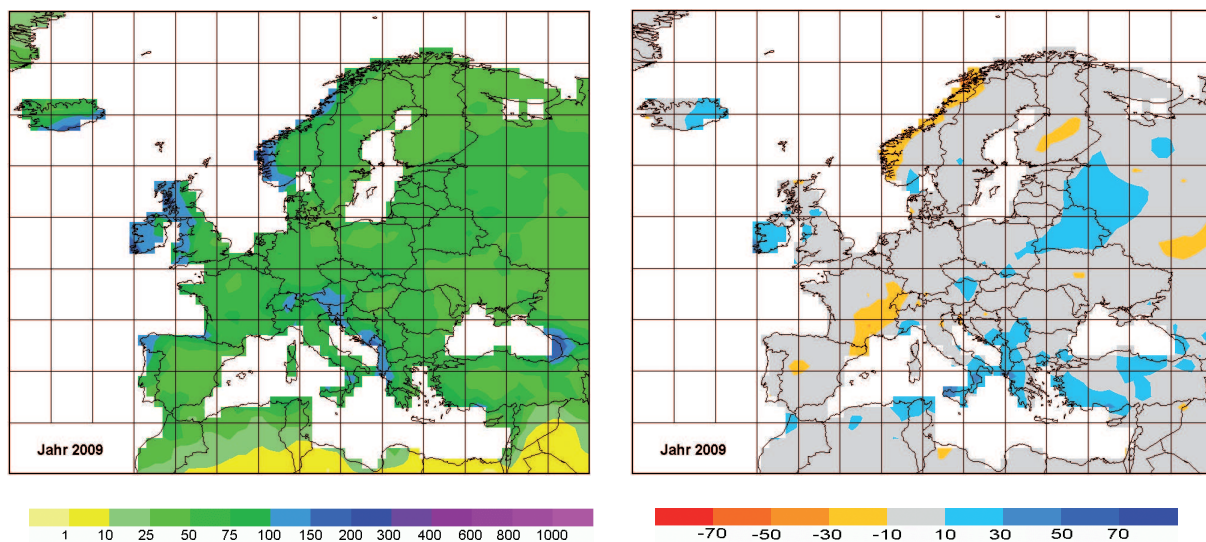


Abb. 2a: Niederschlagshöhe in mm/Monat im Jahr 2009

Abb. 2b: Niederschlagsanomalie im Jahr 2009 als Abweichungen in mm/Monat vom Mittelwert des Zeitraums 1951-2000

Niederschlag

Die Analysen des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN) zeigen für das Jahr 2009 in Europa überwiegend geringe Abweichungen der Gebietsniederschläge von den vieljährigen Mittelwerten des Zeitraumes 1951-2000. In der Anomaliekarte (Abb. 2b) fällt besonders der großflächige Niederschlagsüberschuss in Weißrussland und im angrenzenden Russland sowie im gesamten östlichen Mittelmeerraum, insbesondere in Süditalien und Sizilien, auf. Niederschlagsdefizite traten vor allem an der Küste Norwegens, im Süden Finnlands, im Osten und Süden Frankreichs sowie in der Mitte Spaniens auf.

Bei den einzelnen Jahreszeiten zeigt sich ein differenzierteres Bild (Abbildung 3):

Im **Winter** war es in großen Teilen im Norden und Westen Europas zu trocken, insbesondere in Norwegen, Teilen Finnlands, Südschweden, Dänemark, großen Teilen Deutschlands und Frankreichs sowie auf den Britischen Inseln und Irland. Der ganze Mittelmeerraum dagegen war zu feucht. Insbesondere in Süditalien und Sizilien fiel deutlich mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel. Dort waren der Dezember 2008 und der Januar sehr feucht, erst im Februar fiel weniger Niederschlag. Auf den Britischen Inseln und Irland war es im Dezember 2008 und Februar 2009 extrem trocken, so dass trotz des insbesondere in Irland feuchteren Januars das Gebiet im Winter deutlich zu trocken blieb.

Im **Frühjahr** wurde es in Irland und Schottland sowie teilweise an der Norwegischen Küste etwas feuchter, aber insgesamt war es gegenüber dem Winter deutlich trockener geworden, insbesondere im Mittelmeerraum. Besonders betroffen waren Portugal und Spanien. Vor allem der Westen der Iberischen Halbinsel war in allen 3 Monaten zu trocken. Frankreich war – vor allem im Süden - im März und Mai deutlich zu trocken, was allerdings durch überdurchschnittlich viel Niederschlag im April vor allem im Süden teilweise ausgeglichen wurde, so dass im jahreszeitlichen Mittel nur der Südosten insgesamt zu trocken war.

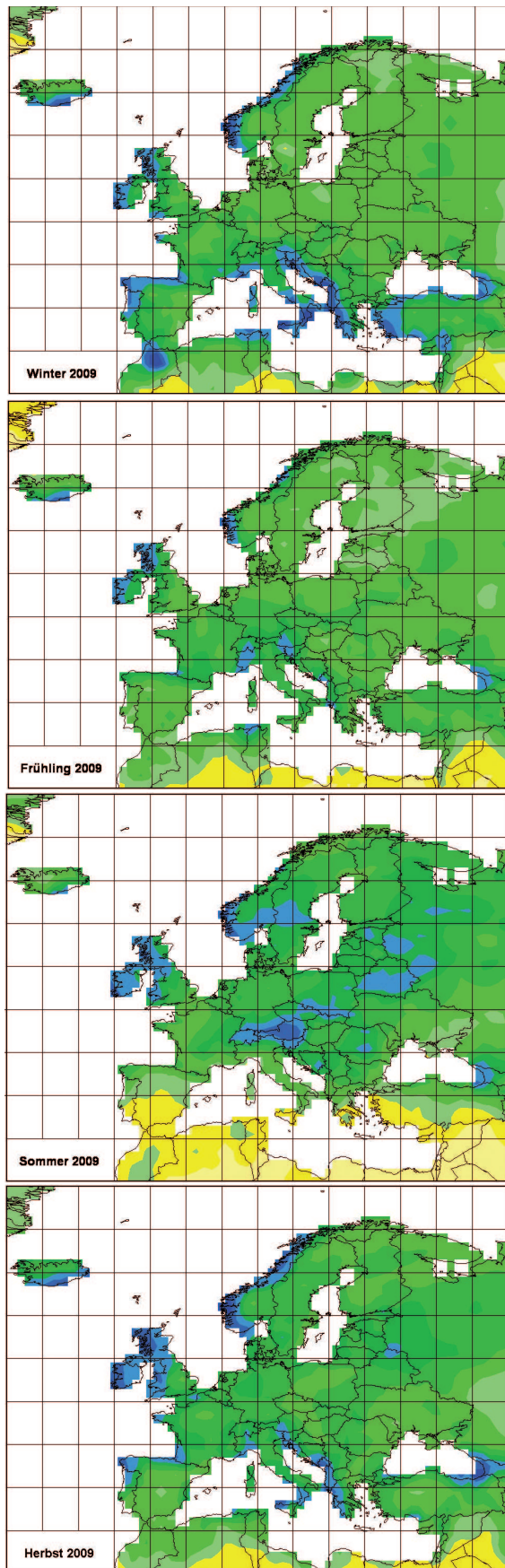


Abb.3a: Niederschlagshöhe für die Jahreszeiten in mm/Monat
Legende siehe Abb. 2

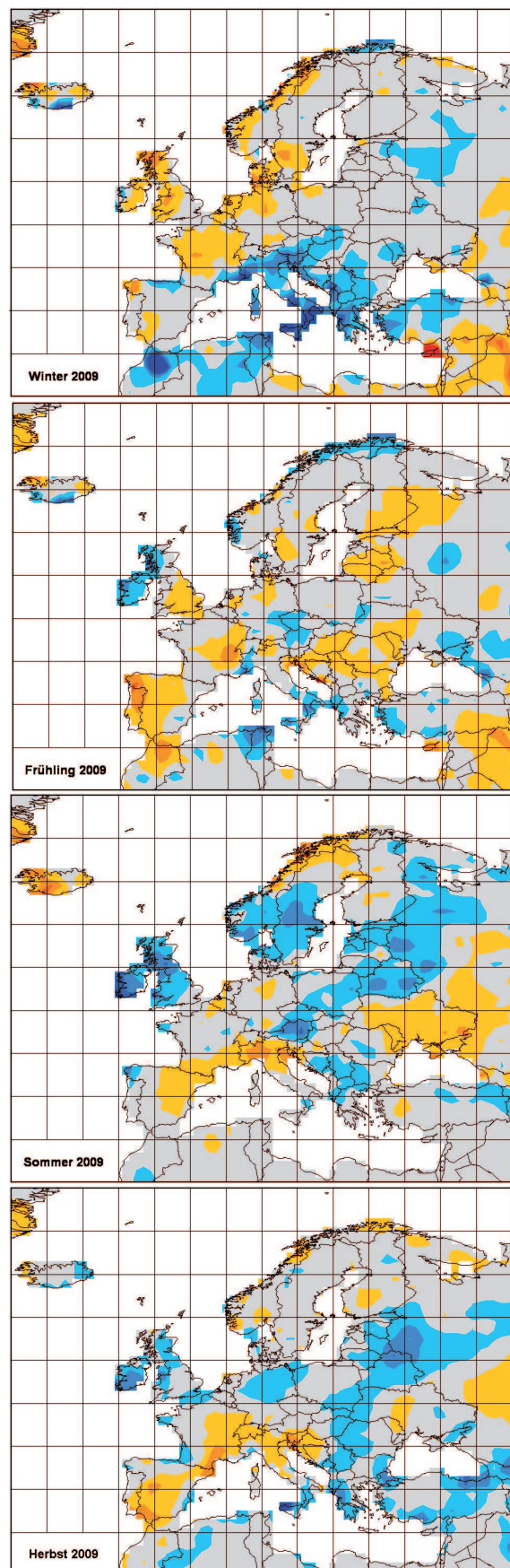


Abb.3b: Niederschlagsanomalie für die Jahreszeiten in mm/Monat
(Bezugszeitraum 1951–2000)

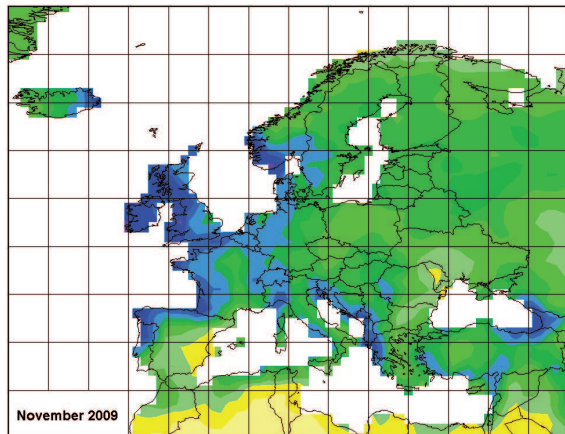


Abb.4a: Monatliche Niederschlagshöhen in mm für November 2009
Legende siehe Abb. 2

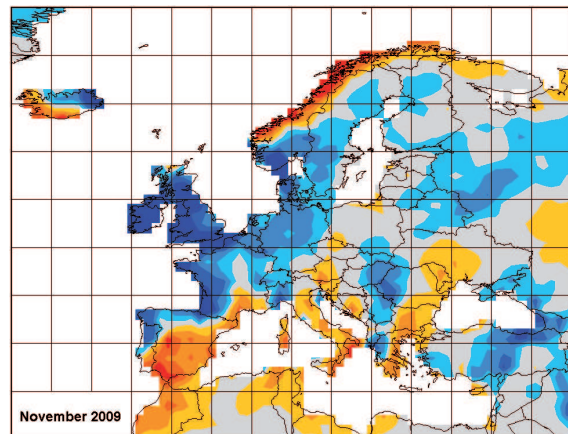


Abb.4b: Monatliche Niederschlagsanomalien in mm für November 2009 (Bezugszeitraum 1951-2000)

Während des **Sommers** waren große Teile Mittel- und Nordeuropas zu feucht. Dies reichte von Irland und den Britischen Inseln über Ostfrankreich, Deutschland, die Alpenregion, Polen, Estland, Lettland, Litauen und Weißrussland bis nach Russland und erstreckte sich im Norden bis Südnorwegen, Schweden und in den Südosten Finnlands. Im Südwesten Großbritanniens, in Südschweden und Weißrussland waren die Abweichungen vom langjährigen Mittel besonders hoch. In Großbritannien war der Juni noch zu trocken, erst im Juli und August fiel deutlich zu viel Regen. Auffallend war andererseits die deutlich geringere Niederschlagshöhe in Island und an der Küste Norwegens in allen drei Sommermonaten.

Der äußerste Nordwesten der Iberischen Halbinsel war jetzt wieder feuchter, aber der Nordosten hatte weiterhin ein Niederschlagsdefizit. Ein zu trockener Streifen zog sich von Spanien, Südfrankreich, Norditalien über die Ukraine bis nach Russland.

Auch im **Herbst** fiel in einem Bereich von Portugal/Südspanien über Frankreich, die Schweiz, Nord- und Mittelitalien bis Slowenien, Kroatien und Bosnien-Herzegowina zu wenig Regen.

Während im September und November der ganze Mittelmeerbereich zu trocken war, fiel im Oktober an der Ostküste Spaniens und in Sizilien zu viel Niederschlag, was auch in der Karte für den Herbst noch erkennbar ist.

Die Gebiete mit Niederschlagsüberschuss hatten gegenüber dem Sommer abgenommen, aber noch immer waren große Teile zu feucht: Irland und der nördliche und östliche Teil Großbritanniens, die Nord- und Westküste Frankreichs, Nord- und Ostdeutschland bis nach Polen und ein großer Streifen von Russland über Weißrussland und die baltischen Staaten bis nach Griechenland, Süditalien und Sizilien sowie Teile der Türkei.

Im November erreichten kurzzeitige Extremniederschläge oder über mehrere Tage anhaltende ergiebige Niederschläge erreichten teilweise das durchschnittliche „Monatssoll“ bzw. lagen sogar darüber und waren damit auch in den Karten der monatlichen Niederschlagshöhen (Abb. 4a) bzw. Niederschlagsanomalien (Abb. 4b) sichtbar.

Schon am 2. November traten in Schottland und Wales nach Stürmen mit heftigem

Regen Flüsse über die Ufer. Unwetter am 18. und 19. November führten zu Überflutungen und Zerstörungen in Nordwest-England und Südwest-Schottland. In Shap in Cumbria fiel in 3 Tagen soviel Regen wie im langjährigen Mittel 1971-2000. In Seathwaite wurden in 24 Stunden 314 mm registriert, ein neuer 24h-Rekord für Großbritannien. <http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk>.

Auch in Irland kam es zu heftigen Überschwemmungen mit enormen Schäden. Am 19. und 20.11. registrierten die Stationen auf Sherkin Island und Claremorris mehr Niederschlag als in einem ganzen November jemals vorher. Der 19.11. war an vielen Orten der nasseste Tag (Valentia Observatory 57,4 mm, Cork Airport 51,2mm) <http://www.met.reading.ac.uk/~brugge/world.html#current>.

In den Karten für den Herbst fallen die heftigen Unwetter in Irland und Großbritannien jedoch nicht übermäßig ins Gewicht, da der Oktober dort extrem trocken war.

Die Niederschlagskarten dieses Beitrags beruhen auf dem „GPCC Monitoring Product“ (Schneider et al., 2008) des Weltzentrums für Niederschlagsklimatologie (WZN, engl. Global Precipitation Climatology Centre, GPCC, <http://gpcc.dwd.de>).

Luftdruck

Im **Winter 2008/2009** lag im Mittel ausgeprägt tiefer Luftdruck im nördlichen Nordatlantik südlich von Grönland und westlich von Island (Abb. 5). Der gesamte nördliche und nordwestliche Nordatlantik hatte eine leicht negative Anomalie bis -4 hPa vom Normalwert. Ebenfalls leicht negativ bis -4 hPa war die Luftdruckabweichung über Mitteleuropa und dem Mittelmeer, während das Azorenhoch und das Russische Hoch etwas schwächer als normal ausfielen. Die Luftdruckabweichung vom Normalwert betrug über dem zentralen Nordatlantik und über Skandinavien und Russland bis +4 hPa. Das Jahreszeitenmittel des NAO-Index betrug -0,08.

Im **Frühjahr** waren das Isländische Tief und das Azorenhoch gut ausgeprägt, über dem Nordwesten des Gebietes gab es im Mittel eine negative Luftdruckanomalie mit Schwerpunkt über Island von -4 bis -8 hPa, über dem zentralen Nordatlantik eine schwache positive Anomalie. Der mittlere NAO-Index betrug 0,74. Negativ war auch die Luftdruckanomalie über dem Osten des Gebietes mit Schwerpunkt über dem südlichen Russland, ebenfalls mit -4 bis -8 hPa.

Im **Sommer** war das Isländische Tief im Mittel nur schwach ausgeprägt und südwärts verlagert. Der Luftdruck hatte eine negative Anomalie fast auf dem gesamten Nordatlantik, und dem Westen des Kontinents, mit Schwerpunkt westlich der Britischen Inseln. Auch große Teile des Mittelmeers, Nordafrikas und des Nahen Ostens wurden noch von der negativen Anomalie erfasst. Der mittlere NAO-Index über die Monate Juni, Juli, August betrug -1,18.

Im **Herbst** war wiederum das Islandtief gut ausgeprägt und räumlich weit südwärts ausgedehnt, während das Azorenhoch abgeschwächt war. Eine negative Luftdruckanomalie umfasste den größten Teil des Nordatlantiks und den Westen Skandinaviens, das gesamte Mitteleuropäische und Südosteuropäische Festland sowie den Mittelmeerraum und den Nahen Osten. Der mittlere NAO-Index über die Monate September, Oktober und November betrug 0,14.

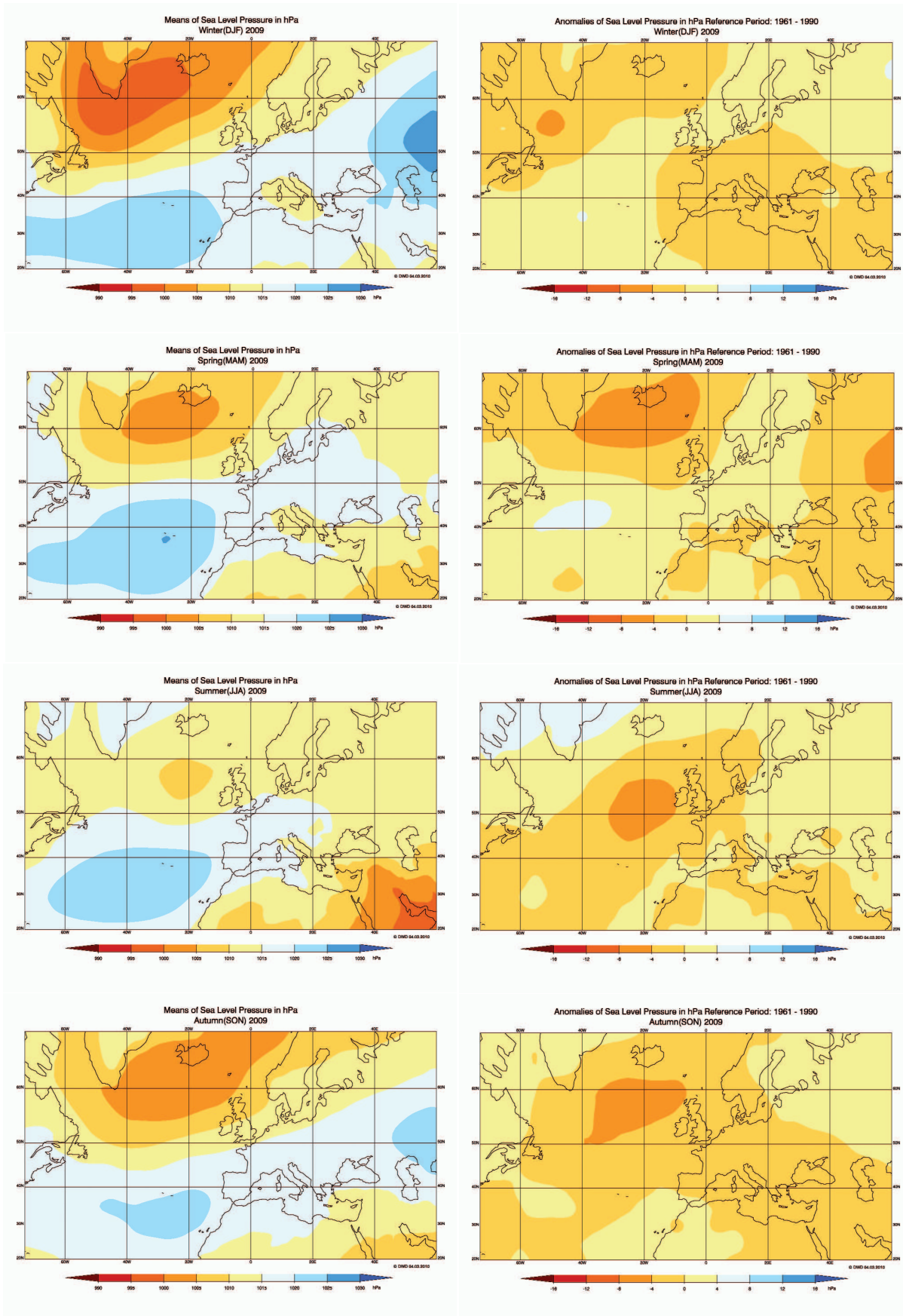


Abb. 5a (links): Mittelwerte des Luftdrucks in Meeresniveau in hPa für die Jahreszeiten

Abb. 5b (rechts): Anomalien des Luftdrucks in Meeresniveau in hPa zum Referenzzeitraum 1961-1990 für die Jahreszeiten

Sonnenscheindauer

Im **Winter 2008/2009** zeigt die Anomaliekarte (Abb.6) im nördlichsten Teil Skandinaviens mit mehr als 150 % vom Normalwert eine deutlich erhöhte Sonnenscheindauer. Aufgrund der tiefstehenden Sonne in den Wintermonaten rührt dies allerdings nur von einigen heiteren Tagen im Februar 2009 her (<http://www.dwd.de/satklim>). Mittelnorwegen und –schweden, Westfrankreich, die Niederlande, Belgien, Deutschland und der Osten Frankreichs sowie die Mitte Polens hatten überwiegend eine erhöhte Sonnenscheindauer von mehr als 125 % vom Normalwert, während ein großer Teil Osteuropas weniger als 75 % und Nordrussland unter 50 % erhielten.

Im **Frühjahr** erhielten lediglich die Türkei und der Nahe Osten zum Teil etwas weniger Sonnenschein als normal, ansonsten war die Sonnenscheindauer überall durchschnittlich oder etwas übernormal. Die Niederlande, Norddeutschland und der Süden Dänemarks sowie Polen und Teile der Slowakei, der Ukraine, Ungarns und Rumäniens sowie der Nordwesten der Iberischen Halbinsel hatten über 125 % vom Normalwert.

Der größte Teil Europas hatte im **Sommer** eine insgesamt normale oder leicht übernormale Sonnenscheindauer mit 95 – 125 % vom Normalwert. Lediglich Ost- und Südosteuropa sowie der Nahe Osten, der äußerste Norden der Region, ein Teil der Baltenstaaten und größtenteils England und Schottland hatten mit 75 – 95 % etwas weniger.

Im **Herbst** hatten lediglich Nordnorwegen und die Mitte Polens mit 125-150 % vom Normalwert deutlich mehr Sonnenschein. Das übrige Polen und Teile Ost- und Süddeutschlands, Österreichs, der Adria-Anrainer und des westlichen Balkans, größtenteils Italien und Südwestfrankreich sowie Spanien, Irland, Norwegen, Nordschweden und Nordfinland hatten mit 105-125 % etwas mehr Sonnenschein als normal. Osteuropa, die Türkei und der Nahe Osten, wie auch Nordfrankreich, Belgien, größtenteils Deutschland und Dänemark, sowie England und Schottland hatten meist etwas zuwenig Sonne.

Die räumliche Verteilung der Absolutwerte der Sonnenscheindauer findet man unter <http://www.dwd.de/rcc-cm>.

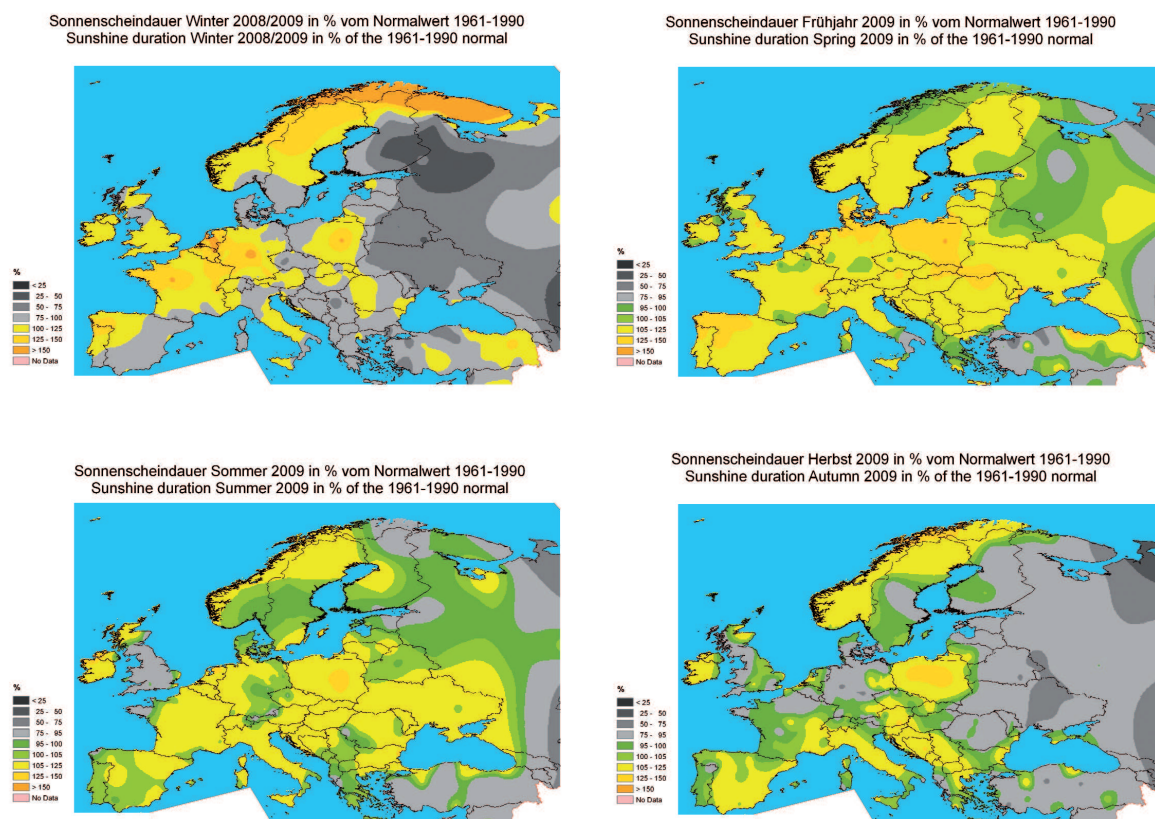


Abb. 6: Anomalien der Sonnenscheindauer in Prozent vom Mittel über den Referenzzeitraum 1961-1990

Strahlungsbilanz

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen die jahreszeitlichen Mittelwerte im Jahr 2009 sowie deren Anomalien bezogen auf den Referenzzeitraum 1983-2009 für die kurzwellige und die langwellige Strahlungsbilanz am Erdboden. Die Datenbasis für diese Auswertung sind die vom CM-SAF (<http://www.cmsaf.eu>) aus METEOSAT-Messungen abgeleiteten Daten. Für den Referenzzeitraum wurden SRB-Daten der Jahre 1983-2007 und CM-SAF-Daten ab September 2005 herangezogen. Die Datengrundlage und das Verfahren zur Erstellung einer konsistenten Referenzklimatologie ist ausführlich in einem Bericht dokumentiert, der auf der Internet Seite des DWD (<http://www.dwd.de/satklim>) im Menü Dokumente zu finden ist („Erstellung einer Referenzklimatologie der Strahlungsbilanzkomponenten...“, Kothe/Ahrens 2009). Die Anomalien bedeuten hier abweichend zum Vorgehen bei den anderen Klimaelementen das Unter- bzw. Überschreiten des jeweiligen neutralen Bereichs, der eine statistisch definierte „Breite“ besitzt. Diese resultiert aus der „Streuung“ des Referenzdatensatzes. Aufgrund der Nutzung von Satelliten-Daten kann nicht die gesamte Referenzperiode der WMO 1961-1990 abgedeckt werden. Andererseits ermöglicht die Referenzperiode 1983-2009 die Ermittlung von Anomalien bzgl. eines aktuelleren Klimazustands.

Bei den Anomalien gibt es nur relativ kleine Flächen des Gesamtgebietes, in denen positive oder negative Abweichungen vom ‚Normalbereich‘ auftreten.

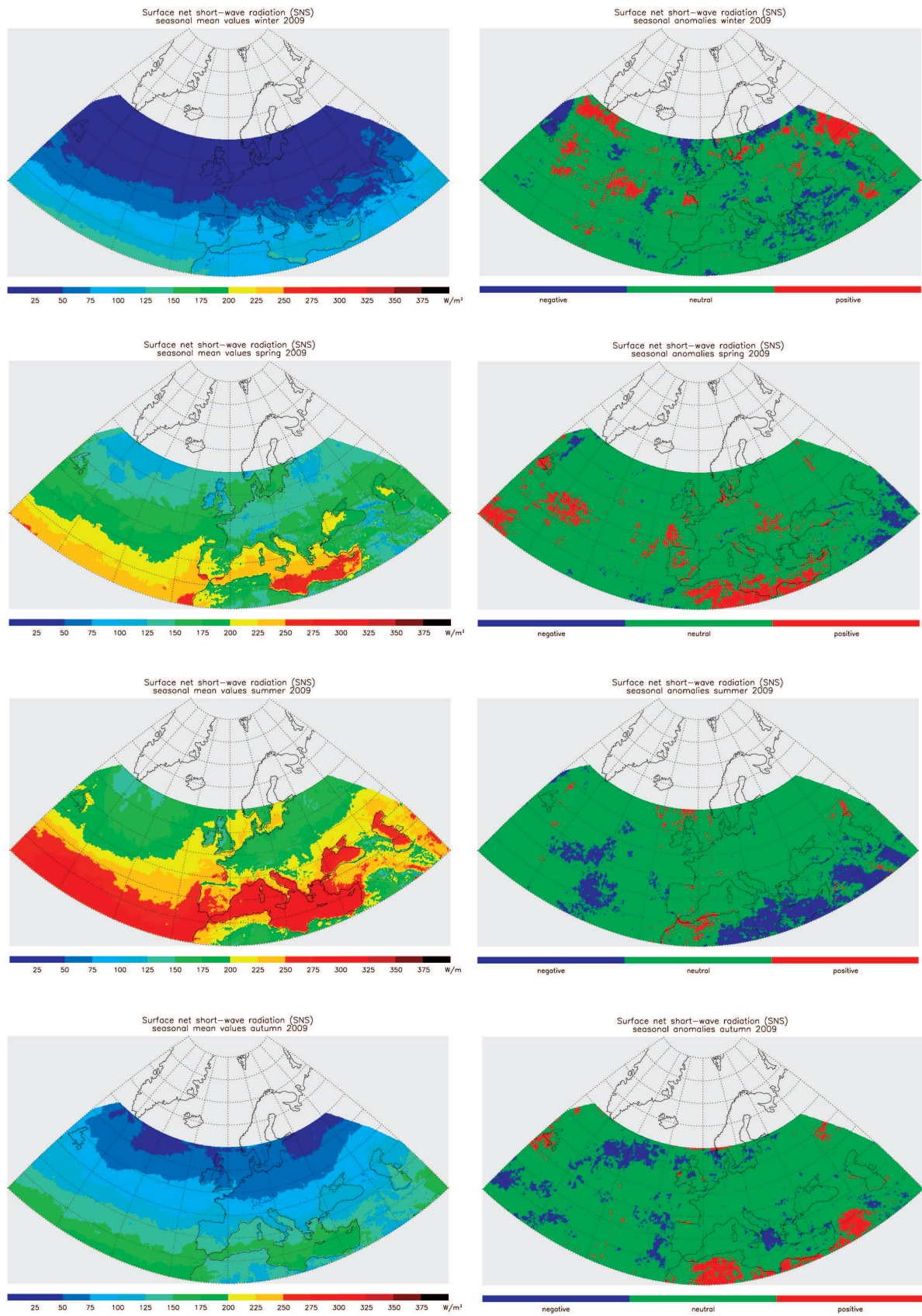
Bemerkenswert ist das größere zusammenhängende Gebiet positiver Anomalie der kurzwelligen Strahlungsbilanz im **Frühjahr**. Hier gab es auch in allen drei Monaten viele heitere Tage (siehe <http://www.dwd.de/satklm>).

Umgekehrt gab es im Mittel über den **Sommer** im östlichen Mittelmeer und im Nahen Osten sowie auf dem zentralen Nordatlantik eine negative Anomalie der kurzwelligen Strahlungsbilanz.

Bei der langwelligen Strahlungsbilanz erscheint im **Frühjahr** vor allem ein größeres zusammenhängendes Gebiet negativer Anomalie über der Iberischen Halbinsel, westlich von Frankreich bis über die Britischen Inseln markant. Hier wird man am ehesten einen Zusammenhang mit der Temperaturanomalie erwarten, die sich allerdings wegen des unterschiedlichen Referenzzeitraums schlecht vergleichen lässt. Jedoch war in diesen Monaten der Nordatlantik in dem Gebiet verhältnismäßig kühl (Referenzzeitraum 1971-2000)

(siehe http://www.emc.ncep.noaa.gov/research/cmb/sst_analysis/).

Auch im **Sommer** zeigt die langwellige Strahlungsbilanz ein großes zusammenhängendes Gebiet negativer Anomalien über dem östlichen Nordatlantik südlich von Island z. T. bis zu den Azoren und über der Norwegischen See und der Nordsee. Auch die Anomalie der Lufttemperatur zum Bezugszeitraum 1961-1990 war im Mittel über den Sommer über dem Nordatlantik im Bereich der Azoren negativ und die Wasseroberflächentemperatur relativ zum Bezugszeitraum 1971-2000 zeigte in allen 3 Monaten negative Anomalien in diesem Bereich. Diese negativen Temperaturanomalien umfassten jedoch nicht die Norwegische See und die Nordsee.



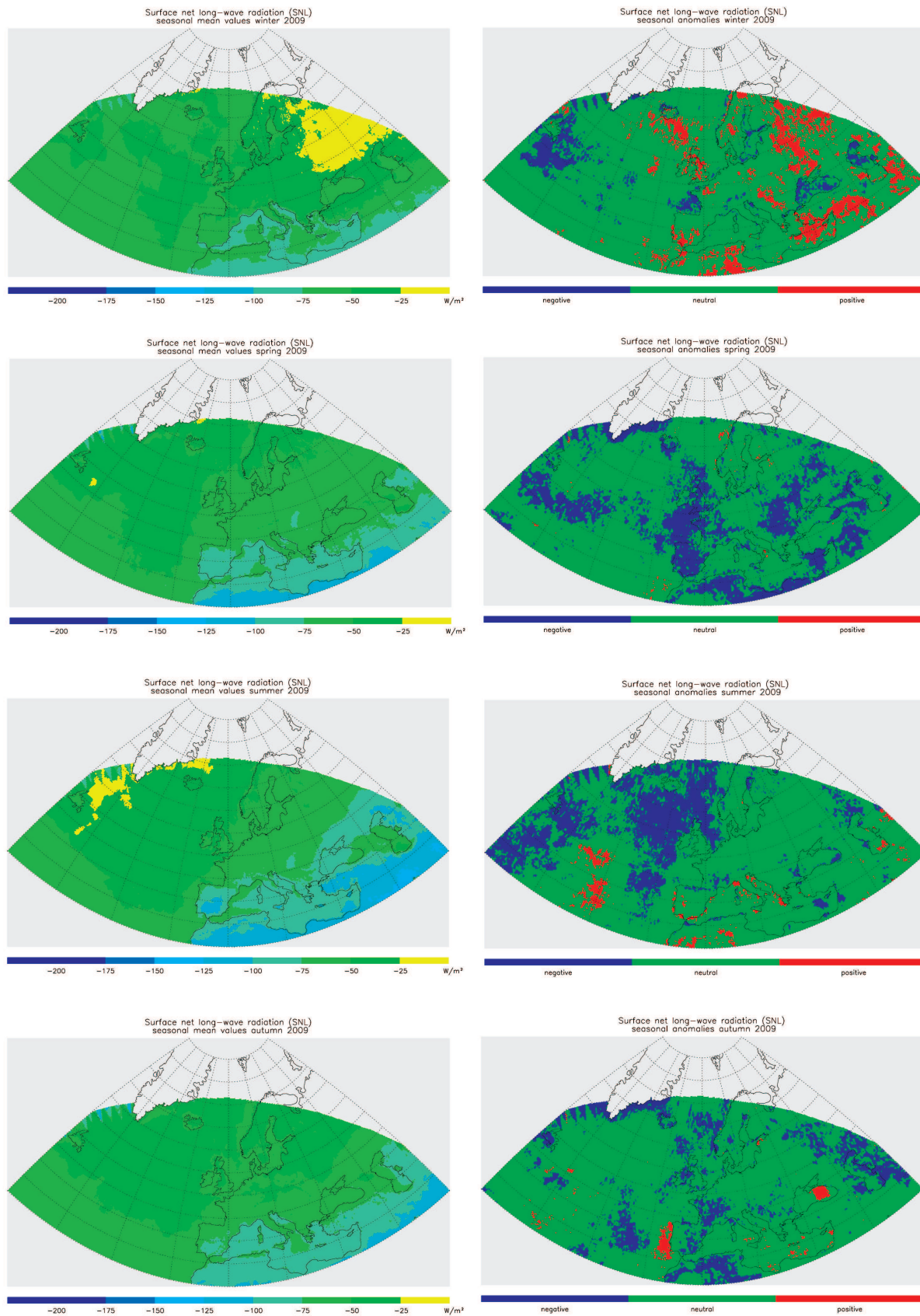


Abb. 8a (links): Mittelwerte der langwelligen Strahlungsbilanz in W/m^2 für die Jahreszeiten

Abb. 8b (rechts): Anomalien der langwelligen Strahlungsbilanz als Unter- oder Überschreitung des unteren oder oberen Terzentilwertes der Referenz 1983-2009 für die Jahreszeiten

Klimatologische Bewertung ausgewählter Klimaindizes

Für die Beschreibung und Analyse des Klimas und seiner Variabilität sind international eine Anzahl sogenannter Klimaindizes wie z.B. ‚Eistage‘, ‚Frosttage‘, ‚Tropennächte‘ usw. definiert worden, die von den Wetterdiensten auf monatlicher Basis aus den Beobachtungen der Klimastationen ausgezählt werden. Regelmäßige Darstellungen der monatlichen Anomalien solcher Klimaindizes für alle verfügbaren Stationen in Europa, die entsprechend lange Reihen besitzen, finden sich unter <http://ecad.knmi.nl>. In der Abb. 9 sind ausgewählte Indizes unter Berücksichtigung der im Jahr 2009 in den Monaten bzw. Jahreszeiten aufgetretenen Besonderheiten dargestellt.

So zeigt z.B. das Bild 9a (Anomalie der Anzahl der Tropennächte für den **Sommer**) anschaulich, dass die Häufigkeit solcher warmen und damit auch belastenden Nächte in diesem Sommer im Mittelmeerraum deutlich übernormal gewesen ist. Bemerkenswert ist, dass auch im Herbst im Mittelmeer noch verschiedentlich (Sizilien, Türkei) übernormal viele solcher Nächte gezählt wurden.

Im **Winter**, vor allem in den Monaten Januar 2009 und Dezember 2009 traten teilweise für Mitteleuropa sehr niedrige Temperaturen auf, so dass neben Behinderungen im Straßen-, Schiffs- oder Flugverkehr sogar Menschenleben durch Erfrieren zu beklagen waren. Die Karte der Anomalien der Anzahl der Eistage im Januar 2009 zeigt, dass diese in Mitteleuropa und auf dem Balkan häufiger als normal, andererseits nicht extrem ungewöhnlich häufig auftraten. Im Dezember waren diese Tage besonders im Alpenraum ungewöhnlich häufig sowie, vielleicht etwas überraschend, auch in Skandinavien.

In fast allen Jahreszeiten des Jahres 2009 gab es sehr markante Niederschlagsereignisse (siehe dazu auch den Abschnitt ‚Niederschlag‘). Die beiden Abbildungen in der letzten Reihe zeigen für Winter und Sommer die Anomalien der prozentualen Abweichung des Niederschlagsanteils der monatlichen Niederschlagshöhe an besonders ‚nassen‘ Tagen. Auch hier treten vereinzelt Stationen in Italien bzw. auf dem Balkan besonders hervor, aber die anderenorts aufgetretenen ungewöhnlich hohen Niederschläge (siehe im entsprechenden Abschnitt), werden in dieser Betrachtung weniger gut oder gar nicht repräsentiert.

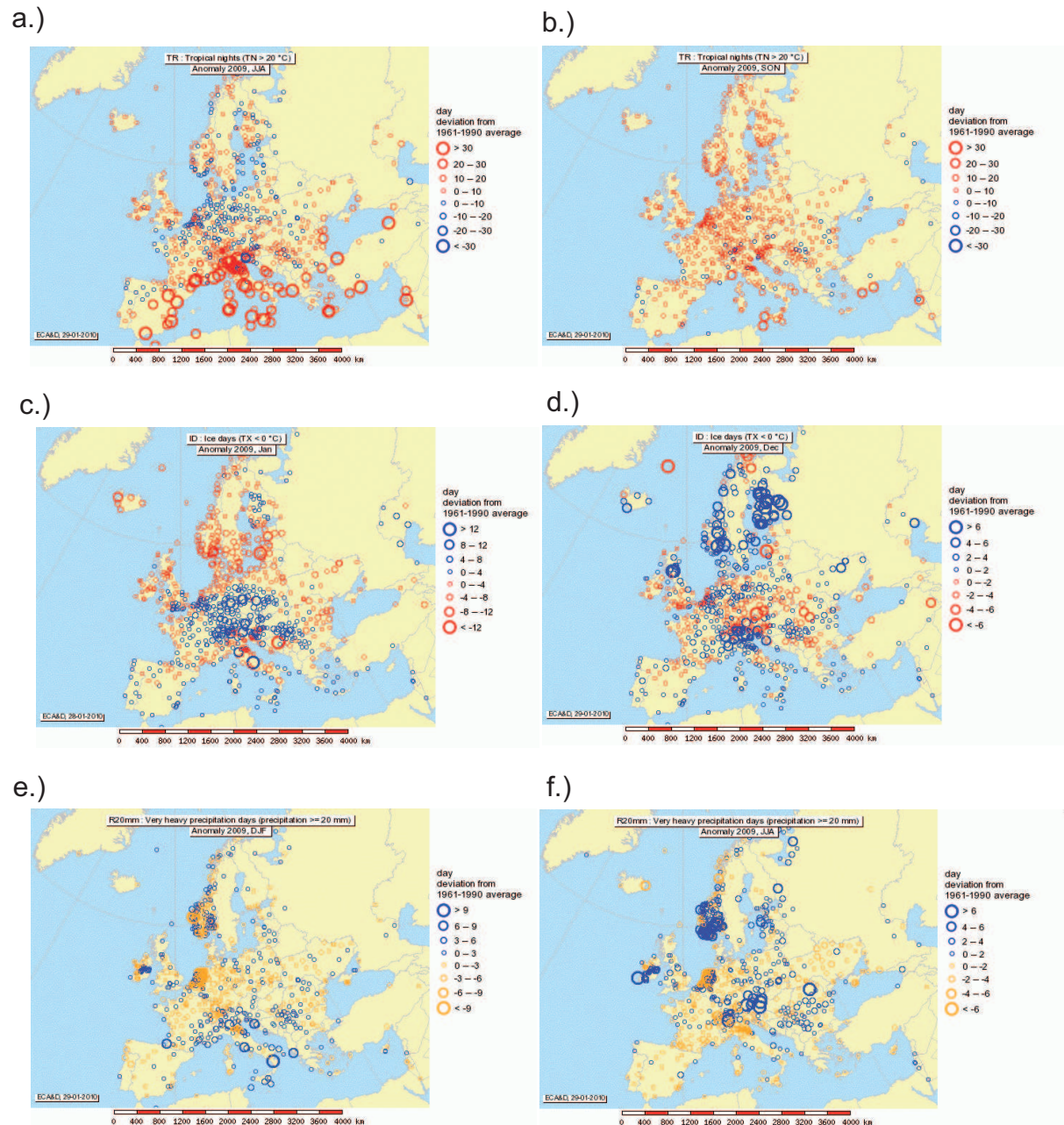


Abb. 9: Anomalien ausgewählter Klimaindizes vom Referenzzeitraum 1961-1990

- Tropennächte im Sommer 2009
- Tropennächte im Herbst 2009
- Eistage im Januar 2009
- Eistage im Dezember 2009
- Starkniederschlag ≥ 20 mm/d im Winter 2008/2009
- Starkniederschlag ≥ 20 mm/d im Sommer 2009

Besondere Ereignisse

Die Tabelle 1 gibt wieder, welche besonderen Witterungsereignisse von den Europäischen Wetterdiensten in den Monatlichen Witterungsberichten des Jahres 2009 aufgeführt wurden. Im Januar und Dezember 2009 wurden vor allem sehr niedrige Temperaturen aus Mittel- und Osteuropa gemeldet. Im Sommer und Herbst gab es vor allem im Mittelmeer und auf der Iberischen Halbinsel sehr hohe Temperaturen.

Tab. 1: Kalender besonderer Witterungsereignisse nach Berichten der Wetterdienste in der RA IV

Besondere Witterungsereignisse des Monats aus Berichten der Europäischen Wetterdienste

Januar 2009

Verbreiteter Schneefall und mehrere Tage mit sehr niedrigen Temperaturminima unter 10 0 C, im östlichen Mitteleuropa auch unter -20 0 C charakterisierten das erste Monatsdrittel. Eis auf Flüssen behinderte den Schiffsverkehr in Deutschland, es gab Verspätungen im Flug- und Bahnverkehr und Unfälle. Bei bis zu -28 0 C erfroren 3 Menschen. Das Tief Klaus verursachte in der 2. Monatshälfte sehr große Wellenhöhen an der spanischen und französischen Mittelmeerküste und forderte mehr als 20 Todesopfer.

Februar 2009

Das Tief Quinten brachte in großen Teilen Frankreichs und auf Korsika mit Böen bis zu 41 m/s, sowie in der Schweiz und Deutschland nördlich der Alpenkämme sehr hohe Windgeschwindigkeiten mit vielfach 30 m/s oder mehr und 25 m/s sogar an geschützten Orten. Dabei waren allerdings weniger die hohen Werte als vielmehr ihre große räumliche Ausdehnung und die Andauer des Ereignisses ungewöhnlich.

März 2009

In Österreich traten in den östlichen Landesteilen extreme hohe Niederschlagssummen auf, so daß das Wald- und Weinviertel, das Tullner Feld und die Wiener Gegend mit bis zu 400 % des Normalen den regnerischsten März seit Beginn der Messungen registrierten. Ein umfangreiches Tief im Mittelmeer brachte Süditalien, Sizilien, Sardinien und dem Tyrrhenischen Meer vom 4.-6. des Monats hohe Windgeschwindigkeiten, große Wellenhöhen, Gewitter mit Tornados, Regen und Schnee. Auch Mittel- und Westeuropa und Nordafrika waren von dem Tief betroffen. In großen Teilen Griechenlands und an der türkischen Westküste wurden auf der Vorderseite große Mengen Saharasand herantransportiert.

April 2009

In Österreich gab es mehrere Lawinenabgänge und Hangrutschungen sowie andererseits 25 Fälle von Waldbrand. In Italien trat am 30. nach schweren Regenfällen der Po über die Ufer.

Mai 2009

Am 25. und 26. gab es in den Niederlanden, in Dänemark, Frankreich, Deutschland, der Schweiz, Österreich und Italien schwere Gewitter mit Windgeschwindigkeiten über 100 km/h, schwerem Hagel mit Durchmessern zwischen 2.5 und 7 cm, Regen um 50 mm in 24 Stunden und vielen Blitzeinschlägen.

Juni 2009

Um den 6. und 7. Juni gab es heftige Gewitter mit schweren Regenfällen, Blitzeinschlägen, Stürmen und einem mit Fotos dokumentierten Tornado bei Suffolk. Exeter registrierte 93 mm Regen zwischen 7 und 20 Uhr am 6. Auch aus der Schweiz und Italien wurden Rekordniederschläge im Zusammenhang mit Gewittern mit Hagel und Sturm berichtet. Locarno erhielt in 3 Stunden 106 mm, Centovalli und das untere Maggia-Tal hatten 250 mm in 12 Stunden. In der Zeit vom 22. bis 25. brachte das große Adriantief 'Quinton' in Italien, Österreich und Deutschland extreme Niederschläge mit mehr als 100 mm in 48 Stunden an mehr als 30 österreichischen Stationen, „50-Jahresniederschlägen“ in Süddeutschland (155 mm als Tagesniederschlag in Siegsdorf-Höll SE des Chiemsee) und intensiven konvektiven Niederschlag in den Tagen davor (20.-22.) in den Regionen Puglia, Lazio, Campania und Calabria mit ebenfalls rekordbrechenden Summen. Portugal litt in dem Monat unter 2 mehrtägigen Hitzewellen, vom 27.5.-3.6. und vom 10.-22.6., mit Temperaturmaxima von 40 0C und darüber, mehr Sommertagen und heißen Tagen sowie 11 Tropennächten im Südosten des Landes.

Juli 2009

Italien litt unter 2 mehrtägigen Hitzewellen mit Temperaturmaxima über 32 0 C zwischen dem 12. und 16. sowie dem 21. und 26. Während der 2. Hitzewelle wurden Temperaturmaxima über 40 0 C an 15 Stationen erreicht oder überschritten und 2 Stationen (Deciomannu und Catania) erreichten 45 0 C. In Norditalien gab es am 17. und 18. intensive konvektive Entwicklungen mit Sturm, Regen, Hagel und sogar Schneefall auf den Bergen. 4 Menschen starben und 1 Mensch wurde schwer verletzt durch Bergrutsche, hohe Wellen an der Küste und umgestürzte Bäume.

August 2009

Österreich wurde am 4./5. wieder von schweren Niederschlägen heimgesucht, die 100 mm oder mehr in 24 Stunden erbrachten. Lunz am See wurde zum dritten Mal in diesem Jahr getroffen. Gewitter mit Blitzschlag und schwerem Hagel und auch Tornados wurden in Deutschland vor allem am 10. und 17. beobachtet. Auch Frankreich hatte Gewitter mit sehr schwerem Niederschlag von 136 mm für Ambert (Puy-de-Dome) bzw. 152 mm für Chalmazel (Loire) am 24. und 26.

September 2009

In Deutschland traten in der ersten Monatshälfte Tornados sowie Gewitter mit schwerem Hagel auf. In Portugal erreichten oder überschritten die Tagesmaxima der Temperatur fast täglich 25 0 C und 2 Hitzewellen von 6-7 aufeinanderfolgenden Tagen zu Monatsbeginn bzw. Monatsende brachten Tagesmaxima von 35 0 C oder mehr vor allem im Landesinnern. Am 9. wurde Istanbul nach schweren Regenfällen überschwemmt. Vom 15.-17. traten heftige Gewitter mit Regen, Sturm und Blitzeinschlägen in Mittel- und Süditalien, im Tyrrhenischen Meer und im Ionischen Meer auf. Besonders betroffen waren Neapel, Rom und Palermo. In Frankreich traten in der Nacht vom 17. zum 18. extreme Niederschläge mit mehr als 160 mm in der Gegend von Bayonne (Atlantische Pyrenäen) auf.

Oktober 2009

Nach einer sehr warmen ersten Monatsdekade gab es ab dem 12. einen Kälteeinbruch, der winterliche Verhältnisse und den ersten Schnee im Süden und Südosten Deutschlands, in der Schweiz und in Österreich brachte und bis zum 20. anhielt. Auf den hohen Bergen der Alpen wurden Neuschneehöhen von 40 cm (Schweizer Alpen), 75 cm (Sonnblick), 100-120 cm (Italienische Alpen) erreicht bzw. 160 cm auf der Zugspitze. In Deutschland erhielten der Wendelstein 82 cm und Zinnwald-Georgenfeld 42 cm und in Ostdeutschland lag zwischen dem 14. und dem 26. eine Schneedecke auch unterhalb von 100 m. Aus Tschechien wurden 103 cm für Lysa Hora gemeldet. Portugal hatte wiederum eine 9-tägige Hitzewelle (10.-18.) mit Temperaturmaxima von 30 0 C und mehr im Süden des Landes.

November 2009

Mehrere Atlantische Tiefs brachten den Britischen Inseln und Irland schweren Regen, starken Wind bzw. Sturm an den Küsten. Am 1. erreichten die täglichen Niederschlagshöhen in Wales, Irland und Schottland 24 – 53 mm an vielen Stationen, am 13.-14. erreichten die täglichen Niederschläge im Süden Großbritanniens ebenfalls 37-53 mm, dazu gab es Windböen von verbreitet mehr als 97 m/s und bis zu 175 m/s an der Küste. Am 19. erhielt der Westen und Südwesten Irlands 2-tägige Niederschlagshöhen über 100 mm und Segethwaite (Cumbria) erhielt vom 18. zum 19. 372 mm. Dies waren vielfach, besonders in Irland, Rekordniederschläge. Ebenfalls am 18./19. hatte Dänemark heftigen Sturm an der Westküste mit Stärken von Beaufort 10 im Mittel und 12 in Böen.

In Frankreich war der November 2009 der zweitwärmste seit 1900. Mehrmals und in alle 3 Dekaden wurden Tagesmaxima um 20 0 C und sogar bis 25 0 C erreicht und die Temperaturminima waren mit 12-15 0 C ebenfalls vielfach recht hoch. Auch in der Schweiz war dieser November einer der wärmsten seit 1864, für Österreich war es ein warmer, jedoch nicht rekordverdächtiger Monat. Aber auch Lettland meldete für den 21. mit Tagesmittelwerten von 10.5-11.3 0 C an einigen Stationen Höchstwerte seit 1926. In Griechenland traten in der ersten Monatshälfte schwere Regenfälle mit Gewitter und Hagel auf und brachten auf dem Festland und den Inseln vielfach Überschwemmungen.

Dezember 2009

Der Dezember war in Portugal sehr naß. Gegenüber dem mittleren Mittel von 1971-2000 war die Niederschlagshöhe landesweit 89 mm zu hoch. Auch Madeira und die Azoren erhielten höchste Niederschläge seit 1931. In der 2. Monatsdekade setzte eine Kältewelle ein, die Norditalien um den 18.-20. heftige Schneestürme und Schneehöhen um 30 cm brachten. Venedig wurde überschwemmt. Die Kältewelle forderte Todesopfer. Allein in Deutschland erfroren um den 20. 7 Menschen und europaweit gab es vermutlich um die 80 Todesopfer durch Erfrieren. Der Temperatursturz führte dazu, dass in der Nacht vom 18. zum 19. 5 Eurostarzüge im Kanaltunnel stecken blieben und erst nach 16 Stunden herausgezogen werden konnten.

Besondere Niederschlagsereignisse gab es außer im Januar und Februar in allen Monaten. Österreich war allein 3 Mal (im März, Juni und August) von schweren Niederschlägen betroffen. Mai und Juni brachten schwere Gewitter in West-, Mittel- und Südeuropa, wobei neben hohen lokalen Niederschlägen und Sturmböen auch Blitzeinschläge und schwerer Hagel auftraten.

Quellen

<http://www.dwd.de/rcc-cm> , <http://gpcc.dwd.de> , <http://www.cmsaf.eu> , <http://ecad.knmi.nl>
http://www.emc.ncep.noaa.gov/research/cmb/sst_analysis/

U. Schneider, T. Fuchs und B. Rudolf (2008): Global Precipitation Analysis Products of the GPCC. Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M., Germany. 16 pp. Internetpublikation unter <http://gpcc.dwd.de>.

Rudolf, B., und U. Schneider (2005): Calculation of Gridded Precipitation Data for the Global Land-Surface using in-situ Gauge Observations, Proceedings of the 2nd Workshop of the International Precipitation Working Group IPWG, Monterey October 2004, EUMETSAT, ISBN 92-9110-070-6, ISSN 1727-432X, 231-247.

Rudolf, B., H. Hauschild, M. Reiß und U. Schneider (1992): Beiträge zum Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie - Contributions to the Global Precipitation Climatology Centre. Meteorologische Zeitschrift N. F. 1 Nr. 1, 7-84.

Quellenangaben zu den aufgelisteten Extremereignissen

- Roger Brugge, University of Reading, UK, <http://www.met.rdg.ac.uk/~brugge/world.html>

- Dartmouth Flood Observatory, New Hampshire, USA, <http://www.dartmouth.edu/~floods>

- UK MetOffice climate and weather statistics: <http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/>

Sowie im Internet verfügbare Monatliche Witterungsberichte bzw. Pressemitteilungen der in der RA VI vertretenen Wetterdienste

Das Klima des Jahres 2009 im globalen Maßstab

P. Hechler, C. Lefebvre

Auch das Jahr 2009 fällt global gesehen unter die zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Zeitreihen im Jahr 1850. Nach Berechnungen des britischen Met Office Hadley Centre und der Climate Research Unit der Universität East Anglia betrug die Abweichung +0.44K bezogen auf die mittlere globale Jahrestemperatur der Referenzperiode 1961-1990 von 14°C. Für den überwiegenden Teil der Landflächen wurden überdurchschnittliche Temperaturen registriert. In Europa, in der Südhälfte Asiens und in der Nordhälfte Afrikas war es weiträumig um 1-2 K zu warm. Nur Teile der USA, Kanadas und Zentralsibiriens fielen bis 1 K zu kühl aus.

Die Dekade 2000 bis 2009 war die wärmste Dekade seit Beginn der Zeitreihe im Jahr 1850.

Die Temperatur- und Niederschlagsmuster, aber auch das Aufkommen tropischer Wirbelstürme wurden nach dem Abklingen eines La Niña-Ereignisses ab Jahresmitte durch eine moderate El Niño-Phase mitbestimmt.

So führte die mit einem El Niño-Ereignis verbundene Erhöhung der vertikalen Windscherung über dem Nordatlantik - trotz des Fortbestehens der Warmphase der Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) – zu einer unterdurchschnittlichen Anzahl von 9 benannten tropischen Wirbelstürmen, von denen 3 Hurrikanstärke erreichten.

Dagegen wurde über dem Nordostpazifik die Entwicklung von Tropenstürmen durch eine Reduzierung der vertikalen Windscherung gefördert. Die Zahl von 20 benannten Wirbelstürmen, von denen sich 8 zu Hurrikannen verstärkten, überschritt den Mittelwert von 16 Stürmen.

Besonders hoch waren die Schäden und Todesopfer, die die westpazifischen Taifune MORAKOT, KETSANA und PARMA durch heftige Regenfälle verursachten, die großflächige Überschwemmungen hervorriefen. Taifun MORAKOT hinterließ in China, auf den Philippinen und Taiwan Schäden von 4,6 Mrd. US \$ an Infrastruktur und Landwirtschaft und mehr als 600 Todesopfer, davon allein auf Taiwan mehr als 400. Taifun KETSANA tötete auf den Philippinen, in Laos und Vietnam 694 Menschen und durch PARMA starben auf den Philippinen, in Taiwan und China 469 Menschen. Durch den tropischen Zyklon AILA, der Ende Mai Bangladesch, Bhutan und Indien heimsuchte, starben 320 Menschen und über 58.000 Nutztiere.

Regionale Temperaturabweichungen

In Europa war insbesondere der April mit Abweichungen bis zu mehr als 5 K in Mitteleuropa ungewöhnlich warm. Aber auch der November fiel fast durchweg um 2 bis 4 K zu mild aus. Dagegen klang das Jahr in vielen Teilen Europas kalt aus. Im Dezember wurden beispielsweise bis zu -40 °C in Skandinavien, -17 °C in Norditalien sowie unter -20 °C in Nordostfrankreich registriert und Großbritannien erlebte die längste Winterperiode (Frost und Schneefall) seit 1981/82.

In Asien war schon der Februar in Sibirien bei Anomalien bis -6 K deutlich zu kalt gewesen, während das mittlere und südliche Asien meist um 2-4 K, weiträumig sogar bis 6 K zu warm ausfiel. Ähnlich wie Europa erlebte Sibirien im April eine sehr kräftige Erwärmung. Von Mittelsibirien bis in die Mongolei war dieser Monat um 4-6 K zu warm. Eine Hitzewelle im Mai brachte dem Osten der Arabischen Halbinsel, Pakistan und Indien Tageshöchsttemperaturen um 50 °C. Der Dezember war wie in Europa auch im nördlichen Asien deutlich kälter als gewöhnlich. In West- und Mittelsibirien blieben die Monatsmitteltemperaturen um 4 K bis 8 K unter dem Mittel.

Auf dem nordamerikanischen Kontinent blieb das Temperaturniveau in mehreren Monaten weiträumig unter dem Durchschnitt. Frühling und Sommer fielen in Kanada weiträumig bis 2 K zu kühl aus, obwohl im Juli an einigen Tagen Rekordtemperaturen gemessen wurden, so bspw. am 29. Juli in Victoria bei Vancouver mit 35°C. September und November fielen mit Anomalien bis 6 K deutlich zu warm aus. In den USA waren der Oktober und Dezember durchweg zu kalt, wobei Anomalien bis -6 K verzeichnet wurden. In den nördlichen Prärien fiel auch der Sommer mit Abweichungen bis - 2 K zu kühl aus.

Südamerika erlebte vor allem in Argentinien, Uruguay, Paraguay und Südbrasilien einen warmen Herbst (März bis Mai) und in Brasilien, Bolivien, Paraguay und Nordargentinien einen sehr milden Frühling. Die Anomalien erreichten Werte um 2 K. Für große Teile Zentralargentinens war es der wärmste Herbst seit 1961 mit saisonalen Temperaturabweichungen von +2 K bis +3 K. In Afrika war im Norden der Sommer noch um 1-2 K wärmer als gewöhnlich.

Für Australien war das Jahr 2009 das zweitwärmste seit Beginn der australischen Beobachtungen im Jahr 1910. Im Januar und Februar suchten zwei extreme Hitzewellen den Süden und Südosten des Kontinents heim. Victoria verzeichnete mit +48,8 °C einen neunten Temperaturrekord. Aber auch der Winter (Juni-August) war außergewöhnlich warm mit Abweichungen in den mittleren August-Höchsttemperaturen bis zu +7 K.

Niederschlag

Global betrachtet war das Jahr 2009 bezogen auf den Niederschlag ein normales Jahr. Während große Teile Alaskas, Australiens, des südlichen Südamerikas sowie Westeuropas und Südasiens trockener waren als es der Referenzperiode entspricht, fielen in Südostbrasilien, Uruguay, Teilen Ost- und Südostasiens, in großen Teilen Europas und im Osten der USA überdurchschnittliche Niederschläge.

Die USA erlebten den nassesten Oktober seit 115 Jahren. Überschwemmungen wurden durch Starkniederschläge u.a. im Bereich von tropischen Wirbelstürmen ausgelöst, wovon besonders die Philippinen betroffen waren. Aber auch in Mittelamerika löste in El Salvador ein Sturm Überflutungen und Bergrutsche aus, bei denen 192 Menschen ums Leben kamen.

Im April und Mai hinterließen Überschwemmungen im nordöstlichen Brasilien mehr als 60 Todesopfer. Über 40000 Menschen wurden evakuiert. Im November wurden durch Niederschläge, die mit Monatshöhen von regional mehr als 500 mm neue

Rekordwerte darstellten, Überflutungen im Süden Brasiliens, im Nordosten Argentiniens und in Uruguay ausgelöst.

Aber auch in Westafrika waren 6 Länder und mehr als eine halbe Million Menschen von Überflutungen betroffen. Allein in Burkina Faso starben Anfang September 159 Menschen, als 263 mm in 12 Stunden fielen und damit einen 90-jährigen Rekord einstellten. Demgegenüber erlebte der Osten Afrikas die schlimmste Dürre seit 10 Jahren. In Kenia ging die Maisernte um 40 % zurück.

Anfang April bewirkten im australischen Bundesstaat Queensland 700 mm in 48 Stunden eine Jahrhundertflut an der Ostküste Australiens. Trockenheit herrschte dagegen im Südosten Australiens, wie in Melbourne. Hier fielen von Januar bis Juni nur 126 mm, womit der bisherige Rekordwert von 1967 der seit 1855 bestehenden Zeitreihe noch unterschritten wurde. Die Dürre führte vor allem in den Bundesstaaten Victoria und New South Wales zu schweren Buschfeuern.

Weite Teile Chinas litten unter der schlimmsten Dürre seit 50 Jahren, was erhebliche Ernteauffälle zur Folge hatte. Mehr als 500.000 Tiere verendeten.

Das El Niño-Ereignis bewirkte im Norden Indiens eine Schwächung des Sommermonsuns. Die schwächste Monsunzeit seit 1972 hatte schwere Dürren in 40 % des Landes zur Folge. Dagegen fiel im September und Anfang Oktober im Süden Indiens sehr ergiebiger Monsunregen, der zu Überflutungen führte, bei denen mehr als 250 Menschen den Tod fanden.

Arktisches Meereis

Satelliten registrierten am Ende der jährlichen Schmelzperiode im September mit 5,10 Millionen km² die dritt-geringste Ausdehnung des arktischen Meereises seit 1979. Verglichen mit dem Mittel 1979-2000 betrug die Abnahme der Fläche des arktischen Meereises im September 11,2 % pro Dekade.

GPCC Monitoring Product Gauge-Based Analysis 1.0 degree
precipitation percentage of normals 1951/2000 for year (Jan - Dec) 2009
(grid based)

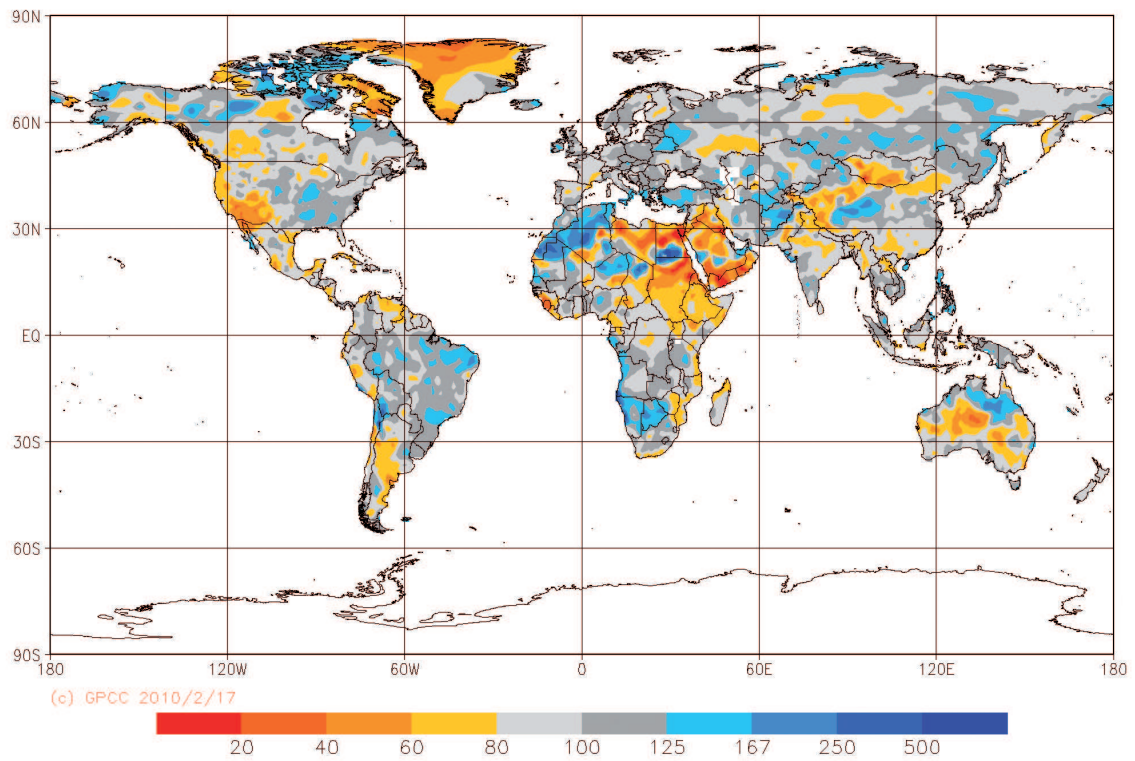


Abb. 1: Globale Niederschlagsabweichungskarte

Quellen:

WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2009, Pressemitteilung Nr. 869 der WMO,

http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_release/pr_869_en.html

TOPICS GEO, Naturkatastrophen 2009, Analysen, Bewertungen, Positionen. Münchener Rück, 2010.

World Weather News 2009, Roger Brugge, Univ. of Reading,

<http://www.met.rdg.ac.uk/~brugge/world2009.html>

Entwicklung klimarelevanter Luftbestandteile

H. Flentje, W. Fricke, U. Köhler, W. Steinbrecht, W. Thomas

Im Rahmen des Global Atmosphere Watch (GAW) Programms der WMO führt der DWD in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt und anderen Einrichtungen langjährige Messungen klima-relevanter Spurengase und weiterer wichtiger Luftbestandteile durch. Die Messungen werden vor allem an den Reinluftstationen Hohenpeißenberg und Zugspitze / Schneefernerhaus durchgeführt. Im Vorjahr haben wir im Klimastatusbericht ausführlich zu Ergebnissen der bodennahen Messung reaktiver Spurengase und Ozonvorläufersubstanzen berichtet. Dieses Jahr sollen, weniger ausführlich, Ergebnisse der Aerosolmessungen vorgestellt werden. Natürlich berichten wir, wie seit vielen Jahren üblich, auch wieder zum Stand der stratosphärischen Ozonschicht.

Ausgewählte Ergebnisse der Aerosolmessungen

Aerosolteilchen in der Luft greifen in viele atmosphärische Prozesse ein. Sie sind wichtig für den Strahlungstransport in der Atmosphäre, bieten Oberfläche für chemische Umsetzungen (z.B. Antarktisches Ozonloch), spielen eine Schlüsselrolle bei der Wolkenbildung, und sind auch für die menschliche Gesundheit von Bedeutung (z.B. Dieselruß). Seit langem sind Aerosoleffekte eine der großen Unsicherheitsquellen bei den Klima-Berichten des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Gerade deswegen sind langjährige Messungen von Aerosolparametern auf hohem Qualitätsniveau von großer Bedeutung.

Abbildung 1 zeigt z.B. den langjährigen Verlauf der am Hohenpeißenberg in-situ gemessenen Partikel-Massenkonzentration. Die Bestimmung der Masse erfolgt über ein gravimetrisches Verfahren, dessen Nachweisgrenze bei ca. 0.01 µg liegt. Seit

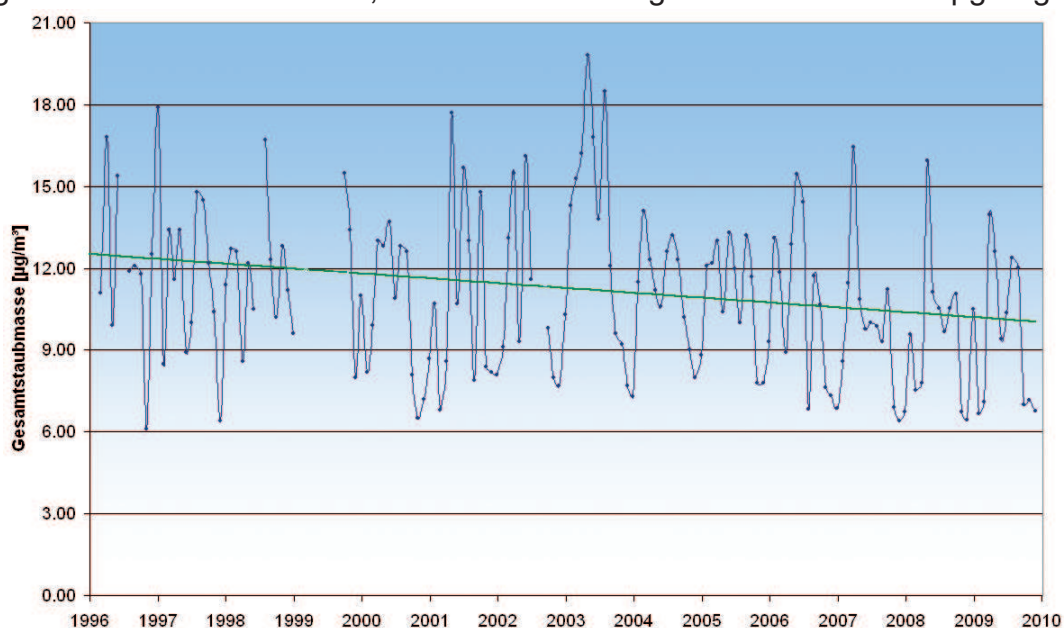


Abb. 1: Partikel-Massenkonzentration am Standort Hohenpeißenberg von 1996 – 2009 (blaue Kurve) mit linear abnehmendem Trend (grüne Kurve).

Beginn der Messungen im Jahr 1996 weist die Gesamtstaubmasse einen abnehmenden Trend von $0.18(\pm 0.06) \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr auf, der mit $R^2=0.06$ auf dem 99%-Niveau signifikant ist. Der langjährige Mittelwert liegt bei ca. $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die Monatsmittel sind jedoch sehr variabel und sowohl von Großwetterlagen und Ferntransport (z.B. Saharastaub) als auch von lokalen Effekten (Aufwirbelung von Grobstaub durch Wind, Brandpartikel, biogenes Aerosol) abhängig. An der Reinluftstation Hohenpeißenberg liegt die Aerosolmasse natürlich meistens weit unterhalb des EU Feinstaubgrenzwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die Gesamtstaubmasse von Abb. 1 ist wesentlich durch größere, relativ massenreiche Partikel beeinflusst. Diese spielen auch für die optischen Aerosoleigenschaften (Transmission, Absorption, Reflexion) in der Regel die größte Rolle. Obwohl in der Massenbilanz eher von untergeordneter Bedeutung, sind jedoch auch Partikel mit geringer Masse wichtig, vor allem in der Biosphäre. Sie entstehen durch Gas-Partikel-Konversion (Nukleation) und sind Vorläufer der größeren Partikel, die durch Koagulation und Kondensation anwachsen. Durch ihre große Anzahl tragen sie erheblich zu der für chemische Umsätze wichtigen Partikel-Oberfläche bei. Zudem sind kleine Partikel lungengängig und spielen dadurch im Bereich der Gesundheit eine große Rolle. In der durch die kleineren Partikel dominierten Anzahl-Konzentration, gemessen z.B. unter freien troposphärischen Bedingungen am Schneefernerhaus in 2635 m.ü.N.N. ist jedoch praktisch keine Tendenz zu erkennen.

Auch die chemische Zusammensetzung der Partikel beeinflusst das Klima sowie die Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen. Neben natürlichen Partikeln, die typischerweise aus Erdkrustenmaterial (Kalzium, Kalium, Magnesium, Silikate), Ammoniumnitrat/-sulfat, Seesalz (Natrium, Chlor) und organischen Substanzen bestehen, ist besonders die Rußkonzentration in der Atmosphäre von Interesse. Rußpartikel stammen in Mitteleuropa überwiegend aus anthropogenen Quellen (Verkehr, Industrieemissionen, Hausbrand). Atmosphärisches Rußaerosol absorbiert Sonnenlicht und wirkt daher erwärmend, den Treibhauseffekt unterstützend. Dieser Effekt ist umso stärker, je höher sich die Partikel in der Atmosphäre befinden. In Bodennähe überwiegt der gesundheitliche Aspekt, denn Rußpartikel sind kanzerogen und auf-

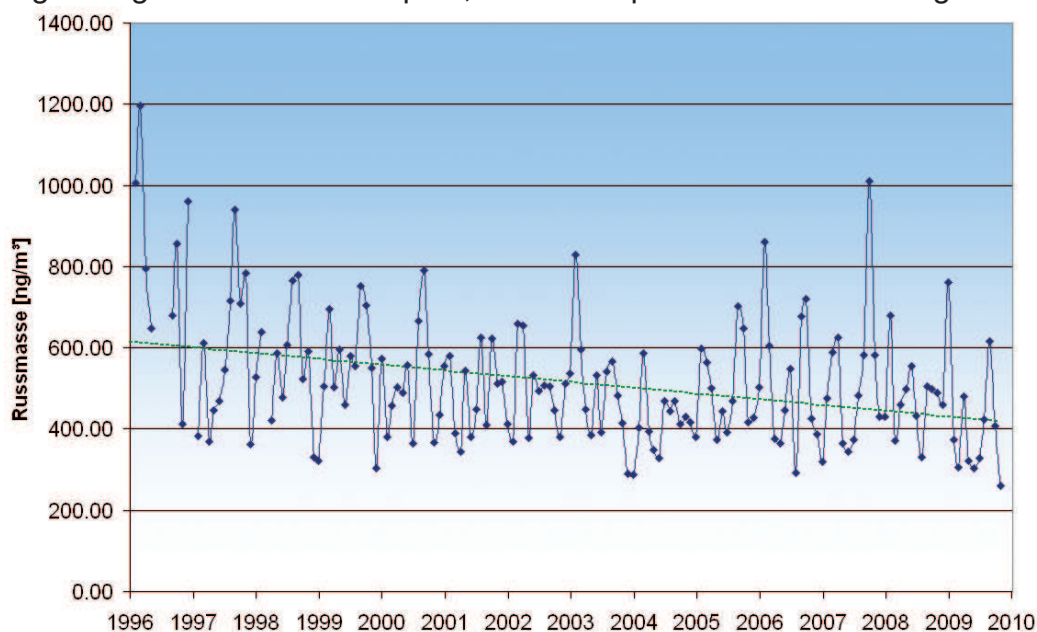


Abb. 2: Ruß-Massenkonzentration am Hohenpeißenberg von 1996 – 2009 (blaue Kurve) mit abnehmender Tendenz (linear genähert durch grüne Kurve).

grund ihrer Größe zumindest teilweise lungengängig. Ob die Partikel in der Atmosphäre netto abkühlend oder erwärmend wirken, hängt von dem Verhältnis des Absorptions- zum Streukoeffizienten, ausgedrückt durch die sog. Single Scattering Albedo, ab. Beide Größen werden seit 1996 bzw. 1997 am Observatorium Hohenpeißenberg im Rahmen der GAW-Aufgaben gemessen. Der zeitliche Verlauf der Rußkonzentration (Abb. 2) zeigt eine abnehmende Tendenz von $0.014(\pm 0.003) \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr, die allerdings stark durch den Beginn und das Ende der Zeitreihe beeinflusst wird. Im Zeitraum 1998 - 2008 ergäbe sich nur eine Abnahme von $0.005(\pm 0.0035) \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr. Es kann daher nur unter Vorbehalt bezogen auf einen bestimmten Zeitraum von einem signifikanten Trend gesprochen werden.

Ozon in der Stratosphäre

Abbildung 3 zeigt den langjährigen Verlauf der Jahresmittel der Ozonsäulen über dem Hohenpeißenberg. Der langjährige Ozonrückgang durch Chlor aus FCKWs endete in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre. Seitdem befinden wir uns in einer Phase langsamer Erholung. Im Rahmen der üblichen Schwankungen, z.B. durch den elfjährigen Sonnenzyklus, oder durch die quasi-zweijährige Oszillation der Winde am Äquator (QBO), passte auch 2009 in dieses Bild. Mit 326 Dobson Einheiten (DU) wurde 2009 ein etwas höherer Wert gemessen, wogegen im Vorjahr die Gesamtozonsäule mit 316 DU relativ niedrig lag. Solche Änderungen von einem Jahr zum nächsten hängen mit der Stärke des winterlichen Polarwirbels, der QBO und der meteorologischen Situation zusammen und sind durchaus üblich.

Einen genaueren Blick auf den Ozonverlauf der Jahre 2008 und 2009 anhand der ge-

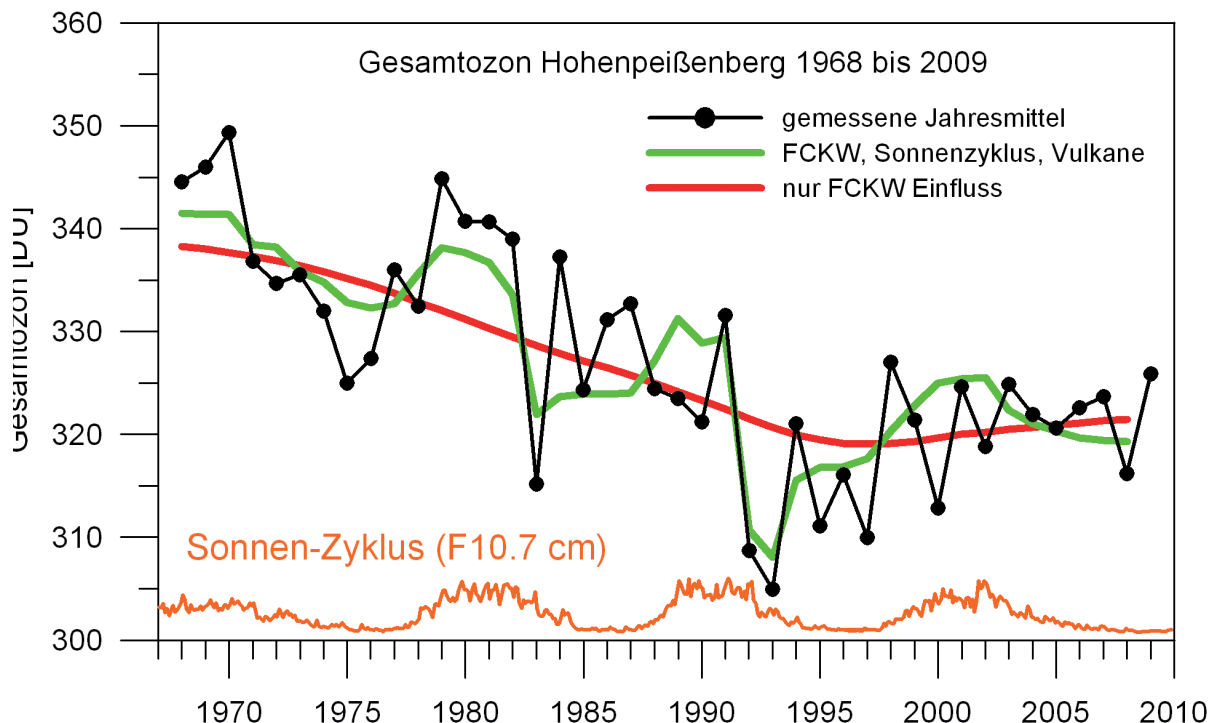


Abb. 3: Blaue Kurve: Jahresmittel des Gesamtozons aus Hohenpeißenberger Messungen. Rote Linie: Langjähriger Verlauf verursacht allein durch anthropogenes Chlor (aus FCKWs). Grüne Linie: Langjähriger Verlauf durch Chlor, Vulkanausbrüche, und 11-jährigen Sonnenzyklus. Rote und grüne Linie sind Ergebnisse einer Schätzung von Einflussfaktoren mittels linearer Regression. Orange Linie: Solare Einstrahlung bei 10.7 cm Wellenlänge als Indikator für die Sonnenaktivität. Einstrahlung etwa $0.7 \times 10^{-20} \text{ W}/\text{m}^2/\text{Hz}$ bei solaren Minima und $2 \times 10^{-20} \text{ W}/\text{m}^2/\text{Hz}$ bei solaren Maxima.

messenen Tagesmittel erlaubt Abbildung 4. Insbesondere in den Wintermonaten, also im Januar und Februar, sowie im Dezember wurden 2009 relativ hohe Gesamtozonsäulen gemessen. Die Werte lagen häufig oberhalb des 67% Perzentils der langjährigen Häufigkeitsverteilung. Im Januar und Februar wurden sogar Ozonsäulen nahe an den bisher gemessenen Maxima beobachtet. 2008 war das Bild eher umgekehrt. Damals lagen die Werte in den Wintermonaten meist unterhalb des 33% Perzentils, an einigen Tagen sogar im Bereich der bisherigen Minima. Diese Unterschiede liefern den Hauptbeitrag zum niedrigen Jahresmittel von 2008, und zum höheren Jahresmittel von 2009.

Die hohen Ozonsäulen im Januar und Februar 2009 hängen mit der rekord-verdächtigen Stratosphärenenerwärmung Ende Januar 2009 zusammen. Diese Stratosphärenenerwärmung gehört zu den intensivsten, die bisher beobachtet wurden. Sie führte zu starkem Transport ozonreicher Luft aus den Tropen nach Norden, sowie zu verstärktem Absinken ozonreicher Luft über der Polarkappe. Aufgrund der relativ hohen Temperaturen traten auch kaum polare Stratosphärenwolken auf. Im arktischen Frühjahr gab es nur geringfügigen chemischen Ozonabbau. Alle diese Faktoren führten zu hohen Ozonwerten über weiten Bereichen der Nordhalbkugel.

Im Gegensatz dazu war im Jahr 2008 der Polarwirbel stark ausgeprägt, weniger Ozon wurde nach Norden transportiert, mehr Ozon photo-chemisch abgebaut. Die resultierenden Ozonunterschiede im ersten Jahresdrittel sind in Abb. 4 zu sehen, und wurden bereits diskutiert.

Weiterhin auffällig sind die sowohl 2008, als auch 2009 beobachteten, fast durchgehend niedrigen Ozonwerte von Mai bis September. In diesen Monaten lagen die Ozonsäulen fast immer unterhalb des 33% Perzentils, manchmal traten rekordverdächtig niedrige Werte auf. Hier zeigen sich die langfristigen strukturellen Ozondefizite, durch chlor-bedingten Ozonabbau, durch das Minimum des 11-jährigen Sonnenzyklus, und möglicherweise auch durch die Klimaänderung. Bei sonnigem Wetter resultieren solche niedrigen Ozonsäulen in erhöhter UV-Strahlung, wobei bei Wellenlängen unterhalb von 310 nm die Erhöhung beträchtlich sein kann.

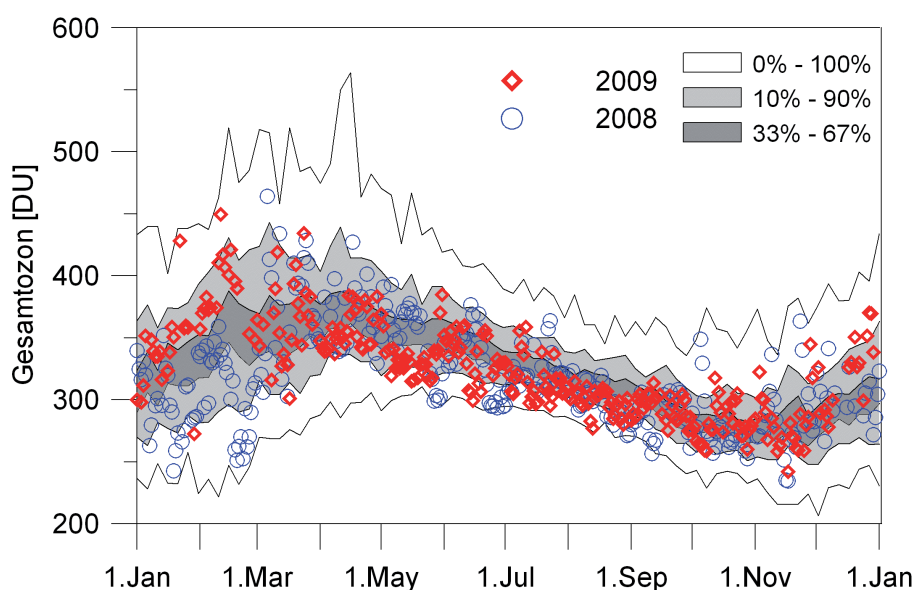


Abb. 4: Tagesmittel des Gesamtozons aus Hohenpeißenberger Messungen für 2009 (rote Rauten) und für 2008 (blaue Kreise). Dunkelgraue Schattierung: Bereich vom 33% bis 67% Perzentil aller Tagesmittel von 1968 bis 2009. Hellgraue Schattierung: 10 bis 90% Perzentil. Weißer Bereich: Minimum bis Maximum (=0% bis 100% Perzentil).

Der Thermische Klimaindex UTCI

**G. Jendritzky, P. Bröde, D. Fiala, G. Havenith, P. Weihs, E. Batchvarova,
R. DeDear**

Einleitung

Die Bewertung und Vorhersage der thermischen Umweltbedingungen des Menschen in einer physiologisch korrekten, wirkungsvollen und praktischen Weise stellt eine der wichtigsten Fragestellungen in der Human-Biometeorologie dar. Dies ergibt sich aus der Notwendigkeit, den Wärmehaushalt des Menschen den thermischen Umweltbedingungen anzupassen, um Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit zu gewährleisten.

Vor diesem Hintergrund wurde vor mehr als 3 Dekaden im DWD das Klima-Michel-Modell KMM (Jendritzky et al., 1979, 1990) entwickelt, das die damals ausführlich publizierte Behaglichkeitsgleichung (PMV Predicted Mean Vote) von Fanger (1970) mit einem Strahlungsmodell zur Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur verknüpfte und damit die Anwendbarkeit der PMV-Gleichung auf die Bewertung der thermischen Bedingungen im Freien erreichte. Später wurde von Staiger et al. (1997) zwecks leichter Verständlichkeit der KMM-Ergebnisse ein Äquivalenztemperatur-Ansatz hinzugefügt, womit der Begriff der sehr populär gewordenen „Gefühlten Temperatur“ geboren wurde. Eine Verbesserung der physiologischen Relevanz des PMV unter warm-feuchten Bedingungen wurde auf der Grundlage der Arbeit von Gagge et al. (1986) von Staiger (VDI, 2008) durchgeführt.

Das Klima-Michel-Modell blieb über mehr als zwei Jahrzehnte weltweit das einzige thermische Bewertungsverfahren für Außenbedingungen mit integriertem Strahlungsmodell und es stellt noch das aktuelle Standardverfahren des DWD dar. Es wird hier u.a. angewendet zur Vorhersage (COSMO-LM, Hitzewarndienst), Klimaanalyse (Synop-Daten), Stadtklima (UBIKLIM), Kurortklimadienst, Klimawirkungsforschung (ECHAM, CLM) einschließlich der Analyse von Mortalitätsdaten.

Wegen der großen Bedeutung der thermischen Bedingungen für den Menschen gibt es eine Fülle von einfachen thermischen Indizes und – in den letzten 30-40 Jahren entstanden- auch eine Reihe von Ansätzen wie z.B. PMV, PET oder SET, die auf der Betrachtung der Wärmebilanz des Menschen beruhen (siehe z.B. Jendritzky et al. 2007). Allen Verfahren ist gemeinsam, dass sie mehr oder weniger erhebliche Mängel im Hinblick auf Thermoregulation und Wärmeaustausch-Theorie aufweisen.

Peter Höpfe hat deshalb 1999 vorgeschlagen, in einer gemeinsamen Anstrengung von Experten auf dem Gebiet der Thermophysik, Bekleidung, Modellierung, Meteorologie und Anwendung einen „Universal Thermal Climate Index UTCI“ zu entwickeln, der die Nachteile der existierenden Verfahren überwindet.

Die Arbeiten wurden zunächst im Rahmen einer Kommission der Int. Soc. Biometeorology ISB begonnen (Jendritzky et al. 2002). Vom DWD wurde dann die COST Action 730 (Cooperation in Science and Technical Development, finanziert vom EU RTD Framework Program) initiiert, welche die organisatorische und finanzielle Basis lieferte, dass seit 2005 Wissenschaftler aus 18 europäischen Ländern plus Australien, Israel, Kanada und Neuseeland sich mehrfach im Jahr in Workshops treffen konnten. Dies hat die Entwicklung des UTCI massiv beschleunigt.

Das so weiterentwickelte Fiala Modell berücksichtigt:

1. eine verhaltensgesteuerte Anpassung der Bekleidungsisolations als Funktion der Lufttemperatur, wie sie bei der Allgemeinbevölkerung beobachtet wurde.
2. eine realistische Verteilung der Bekleidungsisolations über die verschiedenen Segmente des Körpers
3. eine Reduktion des Wärme- und Feuchtwiderstandes der Bekleidung durch Wind und die Bewegung des mit 4 km/h laufenden Menschen.

Der UTCI folgt dem Konzept einer äquivalenten Temperatur (wie GT, SET, PET). Das bedeutet, dass für jede Kombination von Lufttemperatur T_a , Wind v , mittlerer Strahlungstemperatur T_{mrt} und Wasserdampfdruck e der UTCI als die Lufttemperatur unter Referenzbedingungen definiert ist, bei der die dynamische Reizantwort des Organismus, die physiologische Belastung (Strain), derjenigen unter den aktuell betrachteten Bedingungen gleicht. Die Referenzumgebung wurde mit einer relativen Feuchte von $RH = 50\%$ (bis zu einem maximalen Wasserdampfdruck von $e = 20$ hPa), Windstille und mittlerer Strahlungstemperatur gleich Lufttemperatur $T_{mrt} = T_a$ definiert. Diese dynamischen physiologischen Reaktionen sind multidimensional (Kerntemperatur, Schweißrate, Hautfeuchte etc. zu unterschiedlichen Expositionszeiten). Als eindimensionale Darstellung der Modell-Antworten wurde deshalb der UTCI als Belastungsindex (Strain) über eine Hauptkomponenten-Analyse berechnet (Bröde et al. 2009a; 2009b) (siehe Abb. 2). Der thermische Stress kann damit über eine 10-stufige Skala von „extremer Hitzestress“ bis „extremer Kältestress“ bewertet werden.

Da die direkte Berechnung der UTCI-Äquivalenztemperaturen über das vollständige Thermoregulationsmodell für einige Anwendungen wie in der numerischen Wettervorhersage oder bei Klimasimulationen zu rechenzeitintensiv ist, basiert die bisher veröffentlichte Version des Programmcodes des UTCI auf polynomischen Regressionsgleichungen (Bröde et al, 2008, 2009a). Sollten Nutzer es wünschen, wäre ein Verfahren über „Look-up Tables“ möglich.

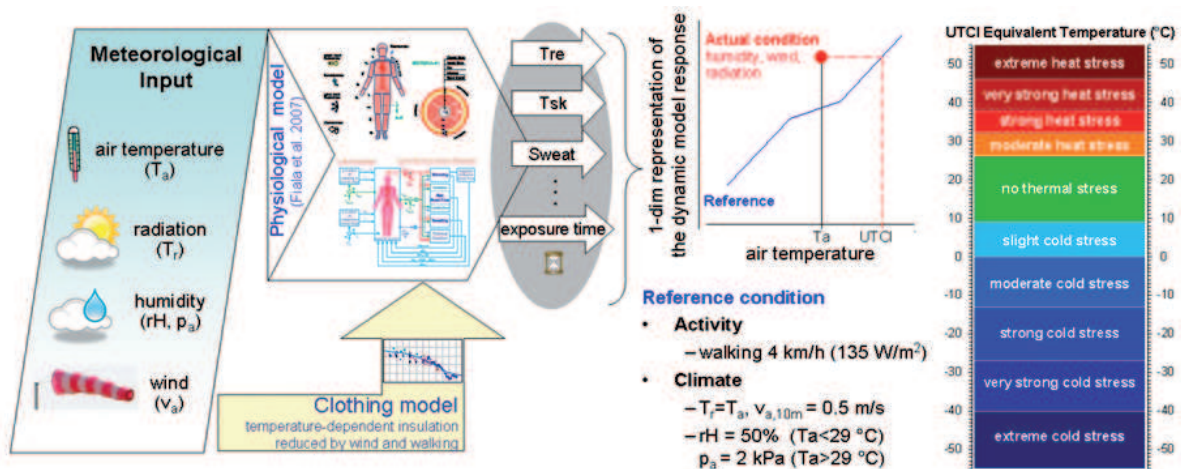


Abb. 2: Konzept der Berechnung des UTCI für eine aktuelle Bedingung, welche definiert ist als die Lufttemperatur von Referenzbedingungen, bei der die gleiche thermische Belastung auftritt.

Schlussfolgerungen

Das Hauptziel der gemeinsamen Aktivitäten einer Gruppe von über 40 Wissenschaftlern aus 22 Ländern war die Entwicklung und kostenfreie Bereitstellung eines physiologisch relevanten Bewertungsverfahrens für die thermischen Umweltbedingungen, welches auf den fortschrittlichsten thermo-physiologischen Modellen beruht. Damit sollen gesundheitsbezogene Anwendungen auf dem Gebiet der Wetterdienstleistungen, des öffentlichen Gesundheitswesens, der Vorsorgeplanung und der Klimawirkungsforschung deutlich verbessert werden. Die Entwicklung des UTCI erforderte die Zusammenarbeit von Experten auf dem Gebiet der Thermophysiologie, der thermo-physiologischen Modellierung, der Bekleidung, der Umweltmedizin, der Meteorologie und Klimatologie, insbesondere im Bereich Strahlungsmodellierung, und der Anwendungsentwicklung. So hat nach vielen Dekaden vergeblicher Anstrengungen von Einzelkämpfern oder undisziplinären Gruppen erst der Zusammenschluss der multidisziplinären Expertise in einem Netzwerk von Biometeorologen, Physiologen und Anwendern die erforderlichen Synergien erzeugt. Dass eine COST Action den geeigneten Rahmen für eine solche multidisziplinäre Aufgabe wie die Entwicklung eines gesundheitsbezogenen Klimaindex liefert, ist deshalb evident.

Der Universelle Thermische Klimaindex UTCI ermöglicht eine Bewertung der thermischen Bedingungen im Freien, die auf der mit einem Modell der Thermoregulation des Menschen berechneten dynamischen physiologischen Reaktion des Organismus basiert. Das Fiala Modell ist dabei mit einem „state-of-the-art“ Bekleidungsmodell gekoppelt. Das operationelle Verfahren, das kostenlos von der UTCI-Website (www.utci.org) herunter geladen werden kann, zeigt im warmen Bereich die erwartete Sensitivität bzgl. der Einflüsse von Luftfeuchte und Strahlungsflüssen sowie von Wind bei Kälte. Lokale Abkühlung z.B. des Gesichtes einschließlich des Risikos von lokalen Erfrierungen (Windchill) müssen als typische nicht-stationäre Phänomene angesehen werden. Über das endgültige Verfahren zur Behandlung dieses Problems wurde noch nicht entschieden.

Auch wenn erwartungsgemäß zwischen dem UTCI und bisherigen auf der Wärmebilanz des Menschen beruhenden Bewertungsverfahren eine relativ enge Korrelation ($r > 0,98$) besteht (Abb.3), so unterscheidet sich der UTCI doch durch eine belastbarere Begründung, weil hier der Fortschritt der Wissenschaft in den letzten 3-4 Dekaden zum Tragen kommt. Man kann davon ausgehen, dass nie vorher ein Verfahren derartig extensiv evaluiert wurde wie das Fiala Modell zur Thermoregulation. Der UTCI benötigt exakt die gleichen Eingabevariablen T_a , v , e , T_{mrt} wie etwa GT, SET, PET, lässt sich also leicht in bestehende Routinen einbauen. Aus Sicht des Erstautors stellt der UTCI de facto die Totalrevision nach 30 Jahren des KMM dar. Der Einsatz des UTCI wird Anwendungen standardisieren und damit Forschungsergebnisse vergleichbar machen.

Die Entwicklung des UTCI fand „unter dem Dach“ der WMO-Commission on Climatology CCL statt. Eine WMO-„Guideline on the Assessment of the Thermal Environment“ befindet sich in Vorbereitung, so dass jeder, der sich mit biometeorologischen Bewertungsfragen befasst, also insbesondere nationale Wetterdienste, aber auch Universitäten, Einrichtungen des öffentlichen Gesundheitswesens, Epidemiologen, Umweltagenturen, Stadt- und Regional-Planer etc. den UTCI als „state-of-the-art“

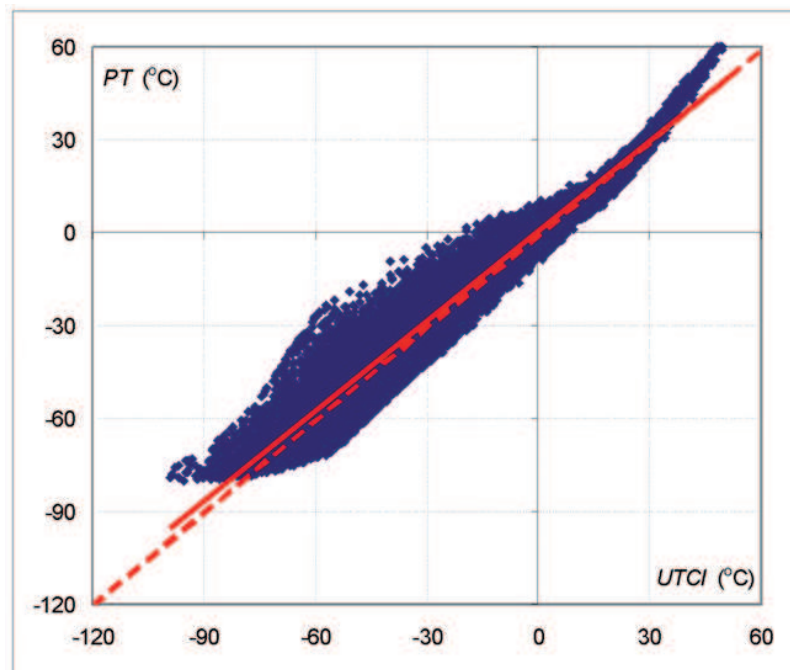


Abb. 3 Vergleich UTCI-GT. Datenbasis Zufallsstichprobe (66500 Quadrupel von T_a , v , e , T_{mrt}) aus ECHAM4/T106 Kontrolllauf

Prozedur für ihre spezifischen Zwecke anwenden können. Internationale Initiativen im Hinblick auf die Erzeugung von WMO-, CEN- und ISO-Standards und Richtlinien werden diskutiert. Wegen der Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Strahlungsflüsse aus unterschiedlichen meteorologischen Datenebenen (Wetterbeobachtungen, numerische Simulationen) wird empfohlen, den UTCI für grundlegende Anwendungen in der numerischen Wettervorhersage und bei Klimasimulationen analog zum UV-Index in RSMCs bzw. RCCs operationell einzusetzen. Beim DWD müsste nur das alte Wärmehaushaltsmodul des KMM durch den UTCI ersetzt werden.

Danksagung

Dank gilt dem Team von Experten aus 23 Ländern, die als Mitglieder der ISB Commission on UTCI und/oder ab 2005 der COST Action 730 zur Entwicklung des UTCI beigetragen haben. Ohne die finanzielle Förderung im Rahmen der COST Action 730 durch das EU RTD FP über mehr als vier Jahre hätte das Projekt allerdings nicht erfolgreich verlaufen können.

Literatur

- Blazejczyk, K., Y. Epstein, G. Jendritzky, H. Staiger, B. Tinz, 2010: Comparison of UTCI to selected present thermal indices. IJB special issue on UTCI (submitted)
- Bröde, P., D. Fiala, K. Blazejczyk, Y. Epstein, I. Holmér, G. Jendritzky, B. Kampmann, M. Richards, H. Rintamäki, A. Shitzer, G. Havenith, 2009a: Calculating UTCI Equivalent Temperature. In: Castellani, J.W., Endrusick, T.L. (eds.): Environmental Ergonomics XIII, University of Wollongong, Wollongong, pp 49-53.
- Bröde, P., D. Fiala, B. Kampmann, G. Havenith, G. Jendritzky, 2009b: Der Klimaindex UTCI - Multivariate Analyse der Reaktion eines thermophysiologicalen Simulationsmodells. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (ed.): Arbeit, Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität im 21. Jahrhundert, GfA-Press, Dortmund, pp 705-708.
- Bröde, P., B. Kampmann, G. Havenith, G. Jendritzky, 2008: Effiziente Berechnung des klimatischen Belastungs-Index UTCI. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (ed.): Produkt- und Produktions-Ergonomie - Aufgabe für Entwickler und Planer, GfA-Press, Dortmund, pp 271-274.
- Fanger, P.O., 1970: Thermal Comfort, Analysis and Application in Environment Engineering. Danish Technical Press, Copenhagen.
- Fiala, D., K.J. Lomas, M. Stohrer, 1999: A Computer Model of Human Thermoregulation for a Wide Range of Environmental Conditions: the Passive System. Journal of Applied Physiology, Vol. 87, No. 5, pp 1957-1972.
- Fiala, D., K.J. Lomas, M. Stohrer, 2001: Computer Prediction of Human Thermoregulatory and Temperature Responses to a Wide Range of Environmental Conditions. International Journal of Biometeorology, Vol. 45, No. 3, pp 143-159.
- Fiala, D., K.J. Lomas, M. Stohrer, 2003: First Principles Modeling of Thermal Sensation Responses in Steady-State and Transient Conditions. ASHRAE Transactions, Vol. 109, No. 1, pp 179-186.
- Fiala, D., K.J. Lomas, M. Stohrer, 2007: Dynamic Simulation of Human Heat Transfer and Thermal Comfort. In: Mekjavic, I.B., Kounalakis, S.N., Taylor, N.A.S (eds.): Environmental Ergonomics XII, Biomed, Ljubljana, pp 513-515.
- Gagge, A.P., A.P. Fobelets, P.E. Berglund, 1986: A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Trans, 92: 709-731.
- Jendritzky G., W. Sönning, H.J. Swantes, 1979: Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung ("Klima-Michel-Modell"). Beiträge d. Akad. f. Raumforschung und Landesplanung, 28, Hannover.
- Jendritzky, G., 1990: Bioklimatische Bewertungsgrundlage der Räume am Beispiel von mesoskaligen Bioklimakarten. In: Jendritzky, G., Schirmer, H., Menz, G., Schmidt-Kessen, W.: Methode zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Akad. f. Raumforschung u. Landesplanung, Hannover, Beiträge 114, 7 - 69
- Jendritzky, G., A. Maarouf, D. Fiala, H. Staiger, 2002: An Update on the Development of a Universal Thermal Climate Index. 15th Conf. Biomet. Aerobiol. and 16th ICB02, 27 Oct – 1 Nov 2002, Kansas City, AMS, 129-133.
- Jendritzky G., D. Fiala, G. Havenith, C. Koppe, G. Laschewski, H. Staiger, B. Tinz, 2007: Thermische Umweltbedingungen. promet, Jahrg. 33, Nr.3/4, 83-94
- Kampmann, B., P. Bröde, 2009: Physiological Responses to Temperature and Humidity Compared With Predictions of PHS and WBGT. In: Castellani, J.W., Endrusick, T.L. (eds.): Environmental Ergonomics XIII, University of Wollongong, Wollongong, pp 54-58.
- Psikuta, A., 2009: Development of an 'artificial human' for clothing research. PhD Thesis, IESD, De Montfort University, Leicester, UK.
- Psikuta, A., D. Fiala, M. Richards, 2007: Validation of the Fiala Model of Human Physiology and Comfort for COST 730. In: Mekjavic, I.B. Kounalakis, S.N., Taylor, N.A.S (eds.): Environmental Ergonomics XII, Biomed, Ljubljana, p 516.
- Richards, M., G. Havenith, 2007: Progress Towards the Final UTCI Model. In: Mekjavic, I.B., Kounalakis, S.N., Taylor, N.A.S (eds.): Environmental Ergonomics XII, Biomed, Ljubljana, pp 521-524.
- Staiger H., K. Bucher, G. Jendritzky, 1997: Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestress beim Aufenthalt im Freien in der Maßzahl Grad Celsius. Annalen der Meteorologie, Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 33: 100-107
- VDI 3787 Bl.2, 2008: Umweltmeteorologie - Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

AMBER	Agrarmeteorologische Beratungssoftware
AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation
AWST	Automatische Wetterstation
BTU	Brandenburgische Technische Universität (Cottbus)
CCL	Commission on Climatology (der WMO)
CEC	Climate and Environment Consulting GmbH Potsdam
CLM	Climate Local Modell
CMSAF	Climate Monitoring Satellite Application Facility
COSMO-LM	Consortium for Small Scale Modelling – Local Model
COST	Co-operation in Science and Technical Research
DU	Dobson Unit
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECHAM	European Climate Model
ETP	Evapotranspiration Potential
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
GAW	Global Atmosphere Watch
GPCC	Global Precipitation Climatology Centre
GT	Gefühlte Temperatur
GTS	Global Telecommunication System
HISTORn	Historische maritim-meteorologische Daten von Segelschiffen und Dampfern
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
INKLIM	Integriertes Klimaschutzprogramm
ISB	International Society on Biometeorology
ISO	International Standardisation Organisation
KMM	Klima-michel Modell
KSB	Klimastatusbericht
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
MOHp	Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg
MOZ	mittlere Ortszeit
MPI-M	Max-Planck-Institut für Meteorologie
NAO	nordatlantische Oszillation
NCEP	National Centers for Climate Prediction (USA)
nFK	nutzbare Feldkapazität
NMHS	National Meteorological and Hydrological Services
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PET	Physiological Equivalent Temperature
PIK	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
PILOT	Höhenwindmessung von einer ortsfesten Landstation
PMV	Predicted Mean Vote
QBO	quasi-biennale Oszillation
RA	Regional Association (der WMO)
RCC	Regional Climate Centre (der WMO)
REMO	Regionales Klimamodell des MPI-M
RSMC	Regional Specialised Meteorological Centre
RTD	Research and Technology Development
SET	Standard Effective Temperature

SSW	Sudden Stratospheric Warming
STAR	sternförmige Projektion
SYNOP	Bodenwettermeldung von einer ortsfesten Landstation
TEMP	Radionsondenaufstieg
TGA n	technische Gebäudeausrüstung
TRY n	Testreferenzjahre
UBA	Umweltbundesamt
UBIKLIM	Urbanes Bioklimamodell
UTC	Universal Time Coordinated
UTCI	Universal Thermal Climate Index
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VOC n	Volatile Organic Compounds
WEWA	Wetterwarte
WMO	World Meteorological Organization
WZN	Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie
ZWEK	Zusammenstellung von Wirkmodell-Eingangsdatensätzen für die Klima folgenabschätzung

Autorenverzeichnis

Flentje, Harald	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Harald.Flentje@dwd.de
Fricke, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Wolfgang.Fricke@dwd.de
Frühauf, Cathleen	Deutscher Wetterdienst Bundesallee 50 38116 Braunschweig	Cathleen.Fruehauf@dwd.de
Hechler, Peer	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Peer.Hechler@dwd.de
Jendritzky, Gerd	Lärchenweg 3 79183 Waldkirch	gerd.jendritzky@meteo.uni-freiburg.de
Köhler, Ulf	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Ulf.Koehler@dwd.de
Lefebvre, Christiana	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	Christiana.Lefebvre@dwd.de
Löpmeier, Franz-Josef	Deutscher Wetterdienst Bundesallee 50 38116 Braunschweig	Franz-Josef.Loepmeier@dwd.de
Maier, Harald	Deutscher Wetterdienst Alte Akademie 16 85354 Freising	Harald.Maier@dwd.de

Meyer-Christoffer, Anja	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Anja.Meyer-Christoffer@dwd.de
Müller-Westermeier, Gerhard	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Gerhard.Mueller-Westermeier@dwd.de
Nitsche, Helga	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Helga.Nitsche@dwd.de
Riecke, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Bernhard-Nocht-Str. 76 20359 Hamburg	Wolfgang.Riecke@dwd.de
Schultz, Hans R.	Forschungsanstalt Geisenheim Lade Str. 1 65366 Geisenheim	r.schultz@fa-gm.de
Steinbrecht, Wolfgang	Deutscher Wetterdienst Albin-Schwaiger-Weg 10 82383 Hohenpeißenberg	Wolfgang.Steinbrecht@dwd.de
Trampf, Walter	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Walter.Trampf@dwd.de
Zimmerman, Kirsten	Deutscher Wetterdienst Frankfurter Str. 135 63067 Offenbach	Kirsten.Zimmermann@dwd.de

Index
A

Aerosol	.93
Aerosolteilchen	.92
AMBER	.24
Anströmrichtungen	.44, 45,46, 47
Apfelbäume	.62
Atmosphäre	.55
<i>freie</i>	.55

B

Bewässerung	.17
Bezugszeitraum	.27
Bodenbildung	.8, 9
Bodenfeuchte	.21, 60, 61, 62, 63, 64,65, 66, 67, 69, 70
Bodenfeuchtesituation	.69
Bodentemperatur	.68,69

C

Chlor	.94
-------	-----

D

Dürre	.90
-------	-----

E

Eisbildung	.52
Eistage	.50, 84, 85
El Niño	.88

F

Festeis	.52
Feuchte	.46
Frosteindringtiefen	.60
Frostgare	.9
Frostschäden	.7
Frosttage 4	.9, 50, 84
Fruchtreife	.65
Frühling	.35
Frühsommer	.63

G

Gebietsmittel	.39, 40, 41
<i>der Durchschnittstemperatur</i>	.39
<i>der Niederschlagshöhe</i>	.40
<i>der Sonnenscheindauer</i>	.41
Gelbreife	.64
Gewitter	.87
Globalstrahlung	.31
Gräserschnitt	.63

H

Hagel	.87
Haselblüte	.60, 61
Herbst	.38
Hurrikan	.88
Höhenwind	.55

I

Indize .....	.96
<i>thermischer</i> .....	.96

J

Jahrestemperatur .....	.88
<i>globale</i> .....	.88

K

Klima-Michel-Modell .....	.96
Klimaindizes .....	.84, 85
Klimamodelle .....	.15
Klimaprojektionen .....	.23, 24
Klimarekonstruktion .....	.12
Krumentemperaturen .....	.61, 63, 64, 65, 66
Kälteschäden .....	.7
Küstengebiete .....	.49

L

La Niña .....	.88
Landwirtschaft .....	.6
Lufttemperatur .....	.49, 58, 71, 73, 98
<i>Anomalien der</i> .....	.73
Luftdruck .....	.77, 78
Luftdruckabweichung .....	.77
Luftdruckanomalie .....	.77
Niederschlag .....	.74
Niederschlagsanomalie .....	.74, 75, 76
Niederschlagshöhe .....	.75, 76
Sonnenscheindauer .....	.79

M

Meereis .....	.90
Mitteltemperatur .....	.27
Monatsmitteltemperatur .....	.45
<i>Anomalien der</i> .....	.45
Mähdrusch .....	.64, 65

N

Niederschlag .....	.7, 23, 27, 46, 51, 66, 89
Niederschlagsabweichung .....	.36, 37, 91
Niederschlagshöhe .....	.27, 30
Niederschläge .....	.8, 9, 10, 17, 21, 25, 60, 62, 63, 65, 84

O

Ostströmung .....	.56
Ostwindzirkulation .....	.56, 57
Ozon .....	.94, 95
Ozonrückgang .....	.94
Ozonschicht .....	.92
Ozonsäulen 9 .....	.4, 95

P

Pflanzenwachstum6
------------------------	----

Q

QBO94
-----------	-----

R

Referenzperiode	.88
Regionalmodelle	.23, 24
Rekordtemperatur	.89
Rosskastanien	.65
Rußaerosol	.93
Rußpartikel	.93

S

Schnee	.60
Schneedecke	.7, 49, 51, 66
Schneefall	.61, 66
Schneeglöckchen	.60
Schneeglöckchenblüte	.61
Schneehöhe	.51,60
Sommer	.37
Sommermonate	.49
Sommertage	.49, 50
Sonnenschein	.27
Sonnenscheinabweichung	.34, 35
Sonnenscheindauer	.29,31, 52, 80
<i>Anomalien der</i>	.80
Spurengase	.92
Starkniederschläge	.51,53,85
Strahlung	.8
Strahlungsbilanz	.80, 81, 82, 83
<i>Anomalien der kurzwelligen</i>	.82
<i>Anomalien der langwelligen</i>	.83
Stratosphäre	.56, 58, 59
Stratosphärenenerwärmung	.56, 58, 59
Stress	.98
<i>thermischer</i>	.98

T

Tagesmitteltemperatur	.28
Taifun	.88
Temperatur	.6, 7, 8, 13, 46, 72, 96, 98
<i>gefühlte</i>	.96
Temperaturabweichung	.32, 33, 71, 88, 89
Temperaturanomalie	.71,72, 81
Temperaturen	.10, 21, 25, 67, 71, 84, 86, 88
Temperatursummen-Index	.16
Thermische Klimaindex UTCI	.96
Thermopluviogramm	.27
Thermoregulation	.96, 97, 99
Traubenernte	.66
Trockenperioden	.17
Trockenstress 7, 8	
Tropennächte	.84, 85
Troposphäre	.55, 58

U

Universal Thermal Climate Index UTCI	96
Universelle Thermische Klimaindex UTCI	99
UTCI	.97, 98, 100

V

Verdunstung	.21, 22, 23, 24, 25, 68, 69
Vernalisation	.7

Vorfrühling61

W

Wasserbilanz24, 25, 64, 65

klimate24

Wasserhaushalt18, 23

Wassertemperatur52, 53

Weihnachtstauwetter51

Weinanbau14

Weinbau6, 12, 13

Weinbauggebiete12, 14, 16, 17

Weinbauregionen15

Westwindzirkulation56

Wetterlagen42, 43

Wetterlagenklassen43

Wetterlagenklassifikation42

objektive42

Wind53

Windvektoren55

Windverteilungen54

Winter32

Wirbelstürme88

tropische88

Witterung27

Witterungsverlauf32

Z

ZWEK23, 24

Zyklonalität46, 48

Äquivalenztemperatur98

Überschwemmungen89